

Populationsstudie av gulrost (*Puccinia striiformis*) i Skåne under odlingssäsongen 2015

A study of the population biology of the yellow rust pathogen (*Puccinia striiformis*) in Skåne during the growing season of 2015

Mikael Nilsson



Populationsstudie av gulrost (*Puccinia striiformis*) i Skåne under odlingssäsongen 2015

A study of the population biology of the yellow rust pathogen
Puccinia striiformis in Skåne during the growing season of 2015

Mikael Nilsson

Handledare: Lina Sjöholm, Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi

Examinator: Anna Berlin, Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A1E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi – magisterarbete, 30 hp

Kurskod: EX0732

Program/utbildning: Agronom mark/växt

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2016

Omslagsbild: Gulrost i höstvet 2015. Foto: Mikael Nilsson

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Gulrost, *Puccinia striiformis*, vete, berberis, populationsbiologi, växtskydd

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Inst. för skoglig mykologi och växtpatologi

Förord

Denna uppsats har skrivits som examensarbete inom programmet Agronom mark/växt vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och kursen går under namnet Självständigt arbete i biologi – magisterarbete. I samarbete med Växtskyddscentralen Alnarp, institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi på SLU och Global Rust Reference Center i Danmark har arbetet gått från idé till genomförd uppsats.

Jag vill tacka min handledare Lina Sjöholm och examiner Anna Berlin vid institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi. Jag vill också rikta ett tack till professor Jonathan Yuen på samma institution för att han presenterade mig för professor Mogens Støvring Hovmøller på Global Rust Reference Center vid Århus universitet i Flakkebjerg, Danmark. Det gav mig chansen att besöka centret där jag främst vill tacka laboratorieassistenten Ellen Jørgensen och forskningsassistenten Julian Rodriguez för att jag fick ta del av deras intressanta arbete med rasbestämning av gulrost.

Ett stort tack vill jag såklart rikta till Gunilla Berg på Växtskyddscentralen i Alnarp eftersom det var med henne jag först diskuterade uppsatsämnet. Jag vill tacka för hjälpen i samband med graderingen av gulrost i fält samt för att hon kommit med åsikter under planeringen av arbetet. Hon tipsade mig även om konferensen i Helsingör där världens främsta forskare inom rost-forskningen var samlade och där jag fick bra inblick i forskarnas arbete.

Sist men inte minst vill jag tacka Senior wheat breeder Tina Henriksson på Lantmännen Lantbruk i Svalöv för den intressanta rundvandringen jag fick vid Lantmännens höstveteförädling och mina klasskamrater Gabriella, Magnus och Johannes för all hjälp i Uppsala vid min vistelse där.

Mikael Nilsson

Uppsala, december 2015
Agronom mark/växt 2010

Sammanfattning

Gulrost är en sjukdom i vete (*Triticum aestivum*) och rågvete (*Triticale*) orsakad av svampen *Puccinia striiformis* forma specialis *tritici*. I Sverige var sjukdomen länge av mindre betydelse, men sedan 2007 är kraftiga angrepp mer regel än undantag. Uppkomsten av nya aggressiva raser i allt högre takt gör att sorter som tidigare varit motståndskraftiga helt plötsligt blir svårt angripna. På Global Rust Reference Center (GRRC) i Flakkebjerg, Danmark görs varje år rastestning för att undersöka vilka raser som finns i Sverige.

I detta arbete gjordes en populationsstudie av *P. striiformis* i Skåne för att undersöka populationens utveckling under en säsong. Gradering av gulrost gjordes i skånska höstvetesortförsök på två platser i 12 sorter. Sorterna följdes för att se när angreppen kom och hur de utvecklades. Prover togs vid flera tidpunkter för genotypbestämning med mikrosatelliter, och även prover från rågvete och vårvete inkluderades i studien. Rastestningen gjordes på GRRC på prover från Jordbruksverket och kunde således inte jämföras med genotyperna från försöksplatserna.

Resultaten visar att gulrostangreppens storlek i fält främst berodde på tidpunkten för första angrepp. Ju senare första angrepp uppträdde desto lägre slutangrepp. Utvecklingshastigheten spelade mindre roll men sorter med tidiga angrepp i kombination med hög utvecklingshastighet gav högst slutangrepp.

En ny ras av gulrost hittades i Sverige och Danmark under 2015 på rågvete och vårvete men inte på höstvete. Ovanligt kraftiga angrepp hittades även i höstvetesorterna Julius, Praktik och Hereford. Det finns en sannolikhet att även det är en ny ras men isolaten måste testas mer. Genotypning visade att det var större genetisk variation i rågvete och vårvete än det var i höstvete. En PcoA indikerade att proverna tagna i rågvete skiljde sig genotypiskt jämfört med proverna från höstvete och vårvete. Parvisa jämförelser mellan populationerna gav en signifikant skillnad mellan populationerna i rågvete och vårvete. Även mellan rågvete respektive vårvete gentemot populationerna i höstvete fanns signifikanta skillnader. Inga signifikanta skillnader fanns mellan höstvetepopulationerna. Antalet unika genotyper minskade under säsongen i höstvete och kring blomning bestod höstvetepopulationerna av endast en eller några få genotyper.

Abstract

Yellow rust is a disease on wheat (*Triticum aestivum*) and triticale (*Triticale*) caused by the fungus *Puccinia striiformis* forma specialis *tritici*. Prior to 2007 the disease was not an issue in Sweden, but since then several outbreaks have occurred. The development of new aggressive races during a short period of time affects previously resistant varieties to be infected. Every year the Global Rust Reference Centre (GRRC) in Flakkebjerg, Denmark tests Swedish samples to examine which races are present.

In this study, a population study of the yellow rust pathogen *P. striiformis* based on samples collected in Skåne, was performed to investigate the development of the population during one growing season. Scoring of the yellow rust disease development was done in winter wheat variety trials in Skåne at two locations and in 12 varieties. To evaluate the disease development the trials were visited several times during the season. Samples for genotyping with microsatellites were collected at each time point. A small collection of samples collected of triticale and spring wheat was included in the study as well. The race identification on GRRC was performed on samples collected by the Swedish Board of Agriculture and hence could not be compared to the genotypes from the trial sites.

The results show that the ‘Area under disease progress curve’ (AUDPC) for yellow rust infections in the field, was mainly caused by the onset of the first infection. A delayed first attack decreased the final attack in this study. The rate of development was less important, but varieties with early attack as well as a high rate of development got the highest final attack.

A new race was detected in Sweden and Denmark in 2015 on triticale and spring wheat but not in winter wheat. The winter wheat varieties Julius, Praktik and Hereford had unusually heavy infections. It is possibly a new race, although additional isolates need to be more carefully tested to confirm the result. Genotyping indicated that the genetic variation in spring wheat and triticale was higher than in wheat. A PcoA indicated that samples collected in triticale differed genotypically to samples of winter wheat and spring wheat. Pairwise comparisons between populations displayed a significant difference between the populations of triticale and spring wheat. Significant difference was also detected between triticale and winter wheat together with spring wheat compared to winter wheat. No significant differences were detected between the winter wheat populations. The number of unique genotypes decreased during the season in winter wheat. Around the time for flowering the populations in winter wheat consisted of only one or a few genotypes.

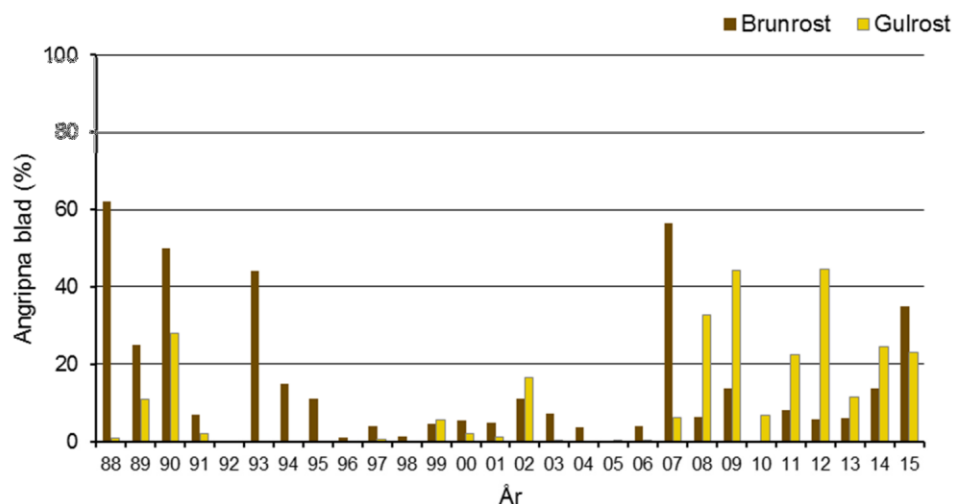
Innehållsförteckning

1.	INLEDNING	1
1.1	GLOBAL RUST REFERENCE CENTER	2
1.2	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	3
2.	BAKGRUND	4
2.1	<i>GULROST</i>	4
2.2	<i>LIVSCYKEL</i>	4
2.1	KLONAL- OCH SEXUELL FÖRÖKNING	7
2.2	<i>SPRIDNING</i>	9
2.3	RESISTENS MOT GULROST	9
2.4	<i>RASER</i>	11
2.4.1	Raser i Sverige	11
2.5	POPULATIONSBIOLOGI OCH EPIDEMIOLOGI	12
2.6	FENOTYP OCH GENOTYP	13
2.7	VÄXTSKYDD MED FUNGICIDER	13
2.8	<i>VÄXTODLINGSSÄSONGEN 2015 I SKÅNE</i>	17
3.	MATERIAL OCH METODER	19
3.1	GRADERING I SORTFÖRSÖK	19
3.2	<i>VAL AV SORTER</i>	19
3.3	GRADERINGSMETOD OCH ANGREPPENS UTVECKLINGSHASTIGHET	20
3.4	<i>RASBESTÄMNING</i>	21
3.5	GENETISKA ANALYSER MED MIKROSATELLITER	25
4.	RESULTAT	28
4.1	GRADERING I SORTFÖRSÖK	28
4.2	<i>RASBESTÄMNING</i>	32
4.3	GENOTYPISK VARIATION	32
5.	DISKUSSION	35
6.	SLUTSATS	39
7.	REFERENSER	40
7.1	OPUBLICERAT MATERIAL	46

1. Inledning

Gulrost orsakas av *Puccinia striiformis* forma *specialis tritici* (*Pst*) och är en sjukdom som orsakar stora skördeföruster i vete (*Triticum aestivum*) och rågvete (*Triticale*), runt om i världen. I extrema fall kan skördeförusterna uppgå till 100% (Jordbruksverket, 2015c). Historiskt sett har *Pst* varit en patogen som trivs bäst i tempererat klimat vilket ofta är förknippat med hög höjd, nordliga breddgrader eller svala år men på senare år har den orsakat störst skada i varmare områden (Hovmøller *et al.*, 2011). Exempel på varmare områden är Sydafrika där den upptäcktes år 1996, västra Australien år 2002 och varma områden i östra USA i början av 2000-talet (Hovmøller *et al.*, 2008). Patogenen har påträffats i över 60 länder på alla kontinenter förutom Antarktis (Chen, 2005). För några år sedan skrev (Chen, 2007) att det i USA hittats 121 raser av gulrost varav hälften av dem först upptäckts efter år 2000.

I Sverige har angrepp av gulrost tidigare varit av mindre betydelse och stora angrepp har enbart skett år som varit gynnsamma för patogenen. Kring förra sekelskiftet uppträdde stora angrepp i snitt vart fjärde år i Skåne liksom i mellersta Sverige om än inte i samma omfattning. Under 1970-talet förekom det angrepp i sorten Kranich och även i sorterna Starke och Holme. Den svenska sorten Sleipner drabbades svårt av gulrost i England 1988 sedan den



Figur 1. Slutangrepp av gulrost (gula staplar) och brunrost *Puccinia triticina* (bruna staplar) i höstveten åren 1988-2015. Medeltal för Halland, Skåne och Halland (Berg *et al.*, 2015b).

specifika resistensen slutat fungera (Lundin, 1997). Sleipnerrasen spred sig senare även till stora delar av Danmark och delar av Sverige under 1989 (Svensson, 1989). Även 1990 förekom stora gulrostangrepp och sedan dess har det rapporterats om mycket gulrost åren 1999, 2002 och 2007 (Wiik & Ewaldz, 2009) men de största angreppen har framförallt skett från 2007 och framåt

(Berg *et al.*, 2014). I Sverige har gulrost inte setts som något problem i Mellansverige utan mer som ett sydsvenskt problem men numera angrips såväl höst- och vårvete samt rågvete varje år även längre norrut i landet. Nya aggressiva raser uppstår snabbt och sorter som tidigare varit fria från gulrost blir helt plötsligt svårt angripna. (Holmkrantz, 2015). Med tanke på att gulrosten blivit en allvarlig sjukdom på senare år så finns det också ett behov av ny kunskap på området.

Examensarbetet är utfört i samarbete med Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi på SLU i Uppsala, Växtskyddscentralen i Alnarp och Global Rust Reference Center i Flakkebjerg, Danmark.

1.1 Global Rust Reference Center

I danska Flakkebjerg startades Global Rust Reference Center (GRRC) år 2008 på uppdrag av International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA) och Aarhus universitet (Grönbech Hansen, 2014). Det är ett referenscenter som arbetar för Borlaug Global Rust Initiative (BGRI) vilket är ett internationellt konsortium med över 1000 forskare från hela världen och som arbetar tillsammans med rost på vete (Borlaug Global Rust Initiative, 2015). GRRC tar emot prover av gulrost från hela världen hela året runt för att kartlägga epidemier och utbrott på nya sorter. Detta görs för att snabbt få ny kunskap vilket är viktigt för att kunna bemästra patogenen (Grönbech Hansen, 2014).

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna uppsats är att undersöka epidemiologin för patogenen *Puccinia striiformis* i Skåne med följande metoder och frågeställningar.

- Gradering av gulrost i sortförsök
När på säsongen kommer angreppen och hur utvecklas de i olika sorter?
- Rasbestämning med differentialset
Vilka raser av gulrost förekommer och har det kommit in någon ny ras under 2015?
- Genetiska analyser med mikrosatelliter
Hur stor är den genotypiska variationen och finns det skillnader under säsongen?
- Vilka växtskyddsstrategier är effektivast mot gulrost?

Hypotesen är att ifall angreppen sker på andra sorter eller i större omfattning på någon sort än vad som tidigare varit känt, kan det tyda på en ny ras av gulrost.

2. Bakgrund

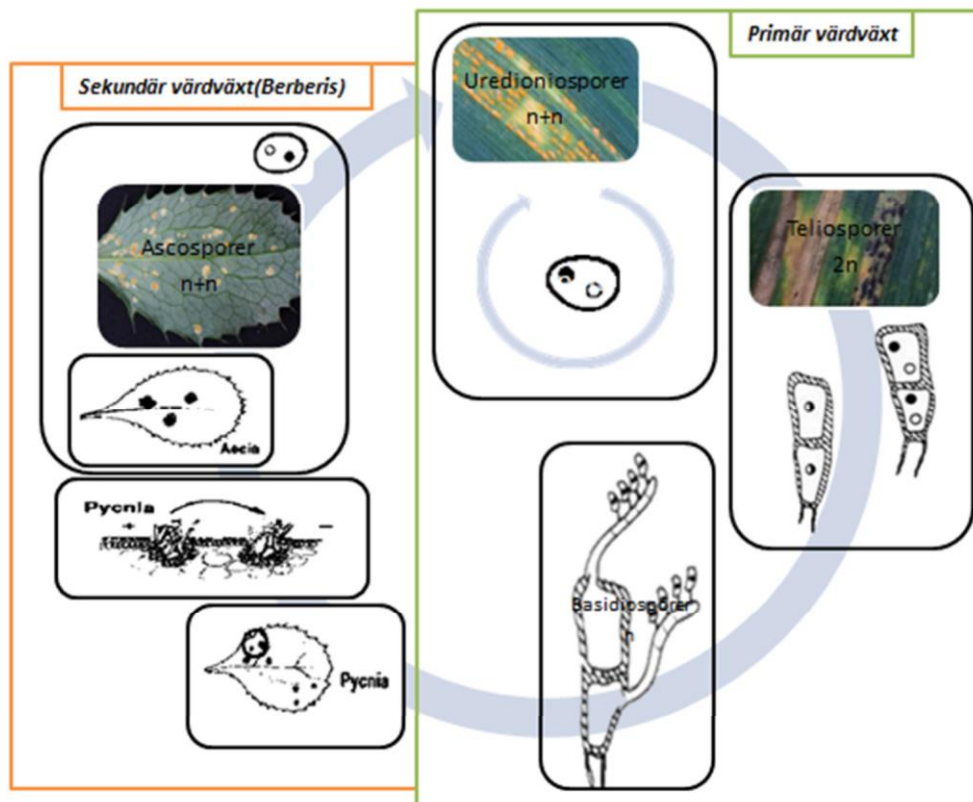
2.1 Gulrost

Gulrost orsakas av svamppatogenen *Puccinia striiformis* som är en rostsvamp tillhörande familjen Pucciniaceae och släktet Pucciniales (Hibbett *et al.*, 2007). Gulrost beskrevs första gången 1777 av Gadd och senare ansåg Bjerkander att det var gulrost som orsakat stora skador i råg i Sverige 1794 (Eriksson & Henning, 1896). Eriksson och Henning var de första som kunde skilja gulrost från annan rost och patogenen fick namnet *P. glumarum* (Eriksson, 1894). Namnet ändrades 1953 av Hylander som gav den det nuvarande namnet *P. striiformis* (Roelfs *et al.*, 1992). Av gulrost finns det flera specialformer och var och en av dem angriper endast en värdväxt t.ex. vetegulrost har namnet *Puccinia striiformis* forma specialis *tritici* och korngulrost heter *Puccinia striiformis* forma specialis *hordei*. Det engelska namnet är yellow rust eller stripe rust (Berg, 1994).

Skadan som gulrosten orsakar är att den fotosyntetiserande ytan minskar vid angrepp och samtidigt omfördelas fotosyntesprodukter från frisk till skadad vävnad till svampens fördel. Detta orsakar dåligt matade kärnor vilket påverkar både skördens kvantitet och kvalitet (Berg, 1994). Kraftiga gulrostangrepp är ofta relaterade till odling av mottagliga sorter i kombination med ett gynnsamt väder det vill säga mild vinter med en efterföljande sval och mild vår/sommar. Väderfaktorer som spelar störst roll för spridningen och utveckling av gulrost är fukt, temperatur och vind.

2.2 Livscykel

Puccinia striiformis (*Pst*) är en obligat biotrofisk parasit som kräver både en primär och en alternativ värdväxt för att fullfölja sin livscykel. Den tillhör de långcykliska rostsvamparna eftersom *Pst* även producerar pykniosporer, aeciosporer och urediniosporer förutom teliosporer och basidiosporer som även de kortcykliska rostsvamparna gör (Agrios, 2008). Det finns flera primära värdväxter men främst infekteras vete (*Triticum aestivum*), durumvete (*T. turgidum* var. *Durum* L.), odlad emmervete (*T. dicoccum* Schrank), vild emmervete (*T. dicoccoides*) och rågvete (*Triticosecale*). Infektioner kan även ske på korn (*Hordeum vulgare* L.) och råg (*Secale cereale* L.) men generellt blir angreppen små (Chen *et al.*, 2014). Flera vilda gräs angrips också till exempel gröe, svingel, rajgräs och kvickrot (Berg, 1994). Den alternativa värdväxten var länge okänd men år 2010 konstaterades det att olika varianter av Berberis (*Berberis spp.*) är alternativ värdväxt (Jin *et al.*, 2010). Även *Mahonia aquifolium* har i laboratorium konstaterats som alternativ värdväxt (Wang & Chen, 2013).



Figur 2. Livscykel *Puccinia striiformis*. Illustration av Mikael Nilsson efter Courtesy V. Brewster och Rodriguez Algaba.

Puccinia striiformis kan infektera vete från det att plantan har ett blad (DC 11) till och med att plantan mognar av (ca DC 75). Gulrost uppträder med orange till gula sommarsporer så kallade urediniosporer på blad, bladslidor och senare på säsongen även i ax. I värdväxtens tidiga utvecklingsstadier på hösten och tidigt på våren är det svårt att skilja gulrost från brunrost. Efterhand förändras färgen på urediniosporerna och vid stråskjutningen sammanfogas de i karaktäristiska ränder längs med bladnerverna för gulrost medan de för brunrost förblir utspridda på bladen (Berg, 1994). Urediniosporerna är encelliga, dikaryota ($n+n$) och haploida, det vill säga har två cellkärnor med vardera en kromosomuppsättning, och står för merparten av den asexuella delen av livscykeln på den primära värden. Urediniosporerna är orsaken till de stora gulrost-epidemierna (Chen *et al.*, 2014). Flera återkommande cykler med urediniosporer kan förekomma under en säsong (Berg, 1994). Senare på säsongen när grödan mognar produceras tvåcelliga, mörkt bruna till svarta, teliosporer som genom karyogamy fogar samman cellkärnorna till diploida ($2n$) celler (Chen *et al.*, 2014). De tillhör den sexuella delen av livscykeln och är övervintringssporer. Teliosporen gror och bildar ett basidium som i sin tur bildar fyra haploida basidiosporer.



Bild 2. Urediniosporer på höstvete.
Foto: Mikael Nilsson.



Bild 1. Teliosporer på höstvete.
Foto: Mikael Nilsson.

Basidiosporerna lämnar den primära värdväxten med vinden och infekterar ovansidan av bladen på berberis där ett pycnia bildas vilket producerar hangamet i form av pycniosporer (n) och hongamet i form av hyphae. Det sexuella utbytet slutförs när pycniosporer från ett pycnia befruktar hyphae i ett annat pycnia. På undersidan av bladen växer det efterhand ut ett aecium som producerar aeciosporer (2n) och dessa lämnar berberisen för att infektera den primära värdväxten där asexuella urediniosporer bildas på nytt (Agrios, 2008, Rodriguez-Algaba *et al.*, 2014). För att basidiosporerna ska kunna gro krävs minst 40 timmar med dagg och för bästa groningen krävs 10 °C i 93 timmar (Wang & Chen, 2013). Teliosporernas korta gröningsvila, den korta tiden med basidiosporer och kravet på lång tid med fukt på bladen förklarar svårigheten att hitta en alternativ värdväxt för *Pst*. I Europa övervintrar *Pst* på höstvete vilket sker med urediniosporer på levande material under milda vintrar. Understiger temperaturen -4°C dör sporulerande material men svampen kan också finnas latent i växten, vilket gör att den överlever så länge växten överlever. Under vintern kan *Pst* finnas latent i växten i upp till 118 dagar och i vissa fall upp till 150 dagar under snötäcke (Zadoks, 1961). I Nederländerna har det konstaterats att det räcker att en pustel per hektar av gulrost överlever vintern, för att ett stort utbrott av gulrost ska ske på våren (Zadoks & Bouwman, 1985).

Tabell 1. Förutsättningar för groningen och tillväxt av urediniosporer av *Puccinia striiformis* (Roelfs *et al.*, 1992).

Fas	Min. temp.	Optimum temp.	Max. temp.	Ljustillgång	Vattentillgång
Groning	0	9-13	23	Låg	Nödvändig
Penetrering	2	8-13	23	Låg	Nödvändig
Tillväxt	3	12-15	20	Hög	Ingen
Sporulering	5	12-15	20	Hög	Ingen

Urediniosporerna gror på bladen inom tre timmar om det finns fri tillgång till vatten samt om temperaturen är inom intervallet enligt tabell 1. Tillgång till grönt växtmaterial är också en förutsättning. Patogenen utnyttjar vatten och näring som finns i plantan vilket gör att plantan tappar kraft och symptom uppträder en vecka efter infektion. Sporuleringen börjar cirka två veckor efter infektion (Chen, 2005). För tillväxt är temperaturintervallet generellt större för vete än vad det är för gulrost. Vid höga sommartemperaturer över 20-25°C utvecklas spannmål relativt fort vilket är en fördel i kampen mot gulrost eftersom patogenen inte trivs i så höga temperaturer. Vete kan på så vis växa från angreppen (Chen, 2013).

2.1 Klonal- och sexuell förökning

Klonal reproduktion innefattar all asexuell förökning där en ny avkomma skapas utav en individ utan genetisk rekombination. Det leder till att avkomman får ett identiskt DNA jämfört med tidigare generation förutsatt att inga mutationer förekommer (Halkett *et al.*, 2005). De flesta prokaryoter, virus och bakterier, antas kunna föröka sig klonalt men även eukaryoter har möjlighet att göra det. Det är endast hos däggdjur och fåglar som klonal förökning inte har beskrivits. Hos växtpatogener med mer än en värdväxt är det vanligt förekommande (Halkett *et al.*, 2005).

Det har länge varit känt att *Puccinia graminis*, som orsakar svartrost på bl.a. vete, värdväxlar med berberis och i Frankrike fanns det en lag om utrotning av busken redan under 1600-talet. I Sverige infördes en lag om berberisutrotning 1918 men togs bort igen 1994 då svartrost inte längre ansågs vara något stort problem (Djurle & Teikari, 2004). Berberisbusken har sin utbredning framförallt i Mellansverige och sedan lagens avskaffande har förekomsten ökat i Sverige, vilket ökar chanserna för sexuell förökning.

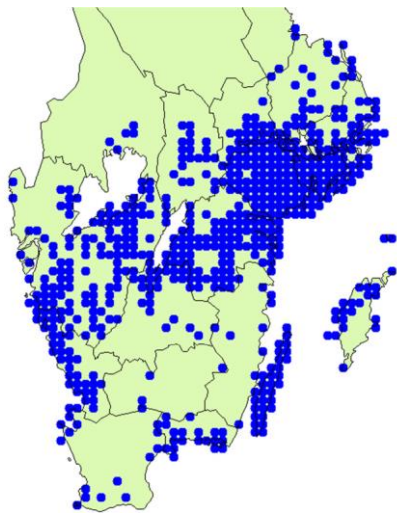


Bild 3. Utbredning av *Berberis* **Bild 4. *Berberis vulgaris* (Lindman 1970).**
vulgaris (SLU, 2015).



Upptäckten av *Berberis* spp. som alternativ värdväxt för gulrost gjordes i Nordamerika då rost hittades på olika berberis-arter i juni 2009. Det var känt att berberisen i området var resistent mot svartrost och därför var upptäckten förvånande. Efter undersökningar av rosten visade det sig att det var angrepp av *P. striiformis* f.sp. *poae* vilket har grösse som primär värdväxt (Jin *et al.*, 2010).

Studier visar att *P. striiformis* till stor del är klonal i ett globalt perspektiv men att den genetiska strukturen kan delas upp i sex grupper motsvarande de områden där skadegöraren finns idag (Ali *et al.*, 2014). Grupperna anses ha sitt ursprung från Himalaya på grund av den populationens stora genetiska variation och förmåga till sexuell reproduktion. Gruppernas förhållande till varandra styrker denna teori (Ali *et al.*, 2014). Den asiatiska populationen (Kina, Pakistan och Nepal) med stor genetisk variation och förmåga till sexuell förökning kan därför vara en potentiell källa till nya aggressiva raser av gulrost. Människors ökande resande mellan länder och världsdelar utgör en risk för spridning av patogenen (Wellings, 2007). Störst genotypisk diversitet i Sverige finns i Västra Götaland och kring Kalmar (Sjöholm & Berlin, 2015) vilket även korrelerar bra med var det finns berberis (bild 3). Släktet *Berberis* består av cirka 500 arter varav två av dem förekommer vilt i Sverige, *Berberis vulgaris* och *Berberis thunbergii* även kallade surtorn respektive häckberberis. Flera odlade arter och hybrider förekommer i trädgårdar som häck- och prydnadsväxter (Anderberg, 2000). Mahonia är ett släkte med ett hundratal arter men endast en *Mahonia aquifolium* har påträffats vilt i Sverige. Flera arter förekommer som odlade växter (Anderberg, 2004).

2.2 Spridning

Urediniosporer av gulrost har troligtvis en sämre förmåga att transporteras långa sträckor jämfört med svartrost och brunrost men under goda förhållanden kan avstånden bli långa. Det beror på att urediniosporer från gulrost är tre gånger mer känsliga för UV-ljus än sporer från svartrost. Spridningen av gulrost från Australien till Nya Zeeland, en sträcka på 200 mil, har troligtvis skett med vindburna urediniosporer och är ett bra exempel på långväga spridning (Roelfs *et al.*, 1992). Vid transport i den övre delen av atmosfären överlever sporer endast en kort tid och vid mycket sol kan gröningsförmågan reduceras till mindre än 0,1 % på bara en dag (Maddison & Manners, 1972). Vid insamling av sporer hittas de med mest livskraft främst på morgonen eftersom de inte utsatts för lika mycket UV-strålning som de som samlats in senare på dagen (Stubbs, 1985).

Studier av *Pst* anses ha börjat i Europa vilket inte är en slump eftersom nordvästra Europa historiskt sett flera gånger har varit utsatt för epidemier av gulrost på vete. Den troliga anledningen till att gulrost är vanligare på vete än korn i Europa är därför att vete till största delen är höstvet och korn till största delen är vårkorn. *P. striiformis* f.sp. *tritici* kan då utnyttja den gröna bryggan som uppstår den korta tiden mellan skörd och sådd. Gulrosten kan överleva på grönskott som inte gått genom tröskan eller på spillplantor som gror efter skörd. Jordbearbetning som lämnar växtrester på ytan kan leda till att enstaka pustlar överlever vilka kan infektera nästa gröda (Zadoks, 1961). Enligt Berg (Berg *et al.*, 2015a) är en vindburen svamp som gulrost ändå svår att förebygga med väl nedbrukade skörderester och varierad växtföljd eftersom sporer sprids över stora avstånd.

2.3 Resistens mot gulrost

Motståndskraftigt sortmaterial är den mest effektiva, miljövänliga och ekonomiskt lönsamma åtgärden för odlaren att undvika gulrost (Chen, 2005). Sortskillnader i resistens mot gulrost konstaterades i Sverige första gången i slutet av 1800-talet då Eriksson och Henning lät prova mottagligheten hos 134 vetesorter. Sorterna delades in efter mottaglighet i tre grupper och fortsatta studier vid Svalöv och Ultuna bekräftade skillnader i resistens mellan svenska vetesorter (Lundin, 1997). I dag är det känt att i stort sett alla vetesorter har någon typ av resistens mot gulrost men att graden av resistens varierar (Stubbs, 1985).

Tabell 2. Skillnader mellan resistenstyper på olika skiljenivåer (Chen, 2013).

Skiljenivåer	Resistenstyp 1	Definition	Resistenstyp 2	Definition
Utvecklingsstadie	Rasspecifik resistens	Resistens som är effektiv i alla utvecklingsstadier	Vuxenplantsresistens (APR)	Mottagliga i groddplantstadiet men blir resistent i ett senare skede
Ras-specificering	Vertikal resistens	Effektiv resistens mot vissa raser	Horisontell resistens	Effektiv resistens mot alla raser
Grad av resistens	Fullständig resistens	Visar inga symptom	Ofullständig resistens	Visar symptom av vissa infektionstyper
Symptomutveckling	Fast rusting	Rost utvecklas snabbt och når snabbt högsta infektionsnivån	Slow rusting	Hög infektionstyp men angreppen utvecklas sakta
Geneffekt		Resistens kontrolleras av en eller få gener med stor effekt		Resistens kontrolleras av en eller flera gener med liten effekt
Antal gener	Monogenresistens	Kontrolleras av en gen	Polygenresistens	Kontrolleras av några få till flera gener
Hållbarhet	Ej hållbar resistens	Resistens bryts ner av enstaka raser	Hållbar resistens	Resistens kvarstår under lång tid mot många raser

Resistens mot gulrost delas upp i rasspecifik resistens även kallad 'all-stage-resistance' samt vuxenplantsresistens, så kallad 'adult-plant-resistance' ofta förkortat "APR" (Chen, 2013). Rasspecifik resistens är en specifik interaktion mellan värdväxt och patogen och betyder att resistensgenen endast ger uttryck om det finns en matchande virulensgen hos patogenen (Manners, 1988). Den matchande virulensgenen triggar värdväxten att skydda sig med en överkänslig reaktion, immunitet eller genom att hindra patogenens fortplantning. Vid överkänslig reaktion används en rad olika försvarsreaktioner som neutraliserar och eliminerar patogener med den matchande genen. Reaktionen syns i form av nekroser på bladen då plantan dödar angripna celler (Agrios, 2008). I vete finns det 54 namngivna resistensgener (*Yr*-gener) av rasspecifik resistens och de är vanligt förekommande i europeiska vetesorter (MacIntosh *et al.*, 1995). Det

beror troligen på att resistensen styrs av en eller ett fåtal gener som på ett enklare sätt nedärvs än resistens styrt av flera gener. Så länge ingen virulent ras finns närvarande är den effektiv. Nackdelen är däremot att resistensen bryts snabbare om den används under längre tid på stora områden då nya virulenta fenotyper av *Pst* uppstår (Hovmøller, 2001). Rasspecifik resistens påverkar fenotypen hos patogenen mer än vuxenplantsresistens (Eriksen *et al.*, 2004).

Den långsiktigt mest effektiva typen av resistens fås med adult-plant-resistance (APR) även kallad vuxenplantsresistens. Sorter med denna typ av resistens blir angripna men plantan utvecklar mer motståndskraft efterhand som plantan blir äldre från och med bestockningen. I unga utvecklingsstadier kan således sporulerande gulrost uppträda men senare på säsongen är det endast symptom i form av kloroser och nekroser (Ma, 1996). APR försenar utvecklingen av angreppet genom förlängd latensperiod och/eller reducerad tillväxt. (Cromey, 1992). Vuxenplantsresistens ger en mer långsiktig resistens och det finns exempel från Frankrike med sorter som varit motståndskraftiga för gulrost i över tio år trots odling över stora områden (Paillard *et al.*, 2012). Veteförädlare anser idag att målet i sortförädlingen inte bör vara helt rena sorter. Istället bör fokus ligga på att ta fram sorter med viss mottaglighet tidigt i plantans utveckling och där APR ger resistens i ett senare skede (Holmkrantz, 2015).

2.4 Raser

Isolat insamlade innan respektive efter år 2000 i USA skiljer sig åt i aggressivitet och den ökade aggressiviteten hos gulrost gör att angreppen numera sker snabbare och vid högre temperaturer jämfört med tidigare (Milus *et al.*, 2006). I ett experiment inkuberades plantor med gulrost i låg temperatur (10°C vid kl 24.00/18°C vid kl 12.00) och vid hög temperatur (12°C vid kl 24.00/28°C vid kl 12.00). Isolat insamlade efter år 2000 hade vid den låga temperaturen en generationstid som var två dagar kortare, sporer växte 18 % fortare och det producerades 71 % gånger mer sporer per mm² pustel per dag jämfört med isolaten insamlade innan år 2000. Vid den höga temperaturen var generationstiden tre dagar kortare, sporer växte 88 % fortare och det producerades 159 % mer sporer per mm² pustel per dag (Milus *et al.*, 2009). Den högre temperaturen, från 12 °C på natten till 28 °C på dagen, har länge ansetts för varmt för patogenen) men denna studie visar att gulrost nu även trivs i områden med dessa temperaturer (Milus *et al.*, 2006).

2.4.1 Raser i Sverige

I Sverige har raserna av gulrost varierat de senaste åren och sedan 2008 har fyra nya raser upptäckts (wheatrust.org). Under 2008 angreps vetesorten Tulsa kraftigt men även SW Gnejs och Akteur och inte sedan 1990 hade så mycket

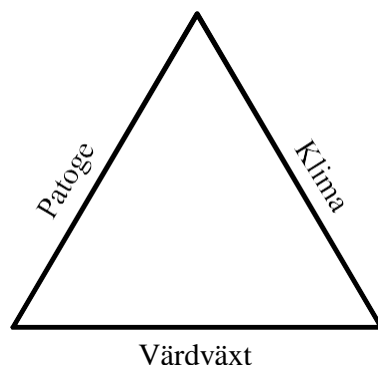
gulrost påträffats (Ewaldz *et al.*, 2008). Tulsa-rasen dominerade i vete medan rasen Triticale aggressive gjorde stora skador i rågvete under 2009-2010, vilket gjorde att bekämpning gav stora merskördar. Däremot var angreppen i höstvete små under 2010 (Berg *et al.*, 2010). Raserna Robigus, Lynx och Oakley förekom men i liten omfattning dessa år. De tidigare friska sorterna Kranich och Audi fick under 2011 stora angrepp av gulrost tillsammans med sorterna Tulsa, Oakley och Akteur. Sedan 2011 är Kranich-rasen dominerande i Sverige följt av Warrior (även kallad Ambition). Warrior är den vanligaste rasen i övriga Europa (wheatrust.org). Flera egenskaper hos dessa två raser skiljer sig från det som tidigare upptäckts. De orsakar mer symptom på vetesorter som tidigare haft vuxenplantsresistens och mindre symptom på tidigare mycket mottagliga sorter (Sørensen *et al.*, 2014) samt att teliosporer produceras i större omfattning (Rodriguez-Algaba *et al.*, 2014). Ett problem med Warrior är att den angriper mottagliga sorter i både vete och rågvete. Det gör att rasen kan spridas mer än t.ex. Kranich-rasen som huvudsakligen angriper vete och Triticale aggressive som i de flesta fall angriper rågvete (Jordbruksverket, 2014a).

2.5 Populationsbiologi och epidemiologi

Inom växtpatologi är populationsbiologi av stor betydelse eftersom det inte är enskilda angrepp av sporer som skapar problem utan istället flera angrepp i ett större område. Populationsbiologi handlar om de biologiska processer som påverkar en grupp som i det här fallet kan bestå av flera miljoner eller miljarder individer (McDonald, 2004).

Population betyder en grupp individer av samma art som lever på en geografisk plats och som kan ge upphov till en fertil avkomma generation efter generation. Populationsgenetik behandlar förändringar i populationen i tid och rum och det handlar ofta om flera år och spridning i ett globalt perspektiv (McDonald, 2004).

Epidemiologi handlar om patogenens förmåga att föröka sig och dess spridning i tid och rum i växtpopulationer. Om studier inom populationsbiologi är i ett stort perspektiv så är studier inom epidemiologi ofta i ett litet perspektiv t.ex. 1-2 växtodlingssäsonger inom ett fält eller annat begränsat område (McDonald, 2004).



Figur 3. Sjukdomstriangeln består av tre faktorer som alla påverkar sjukdomsutvecklingen.

Sjukdomsförlopp inom växtpatologi kan förklaras med sjukdomstriangeln (figur 3) som består av tre faktorer vilka är beroende av varandra för att ett angrepp ska utvecklas. Det behövs alltid en patogen som i ett gynnsamt klimat angriper en värdväxt och skulle ett element saknas eller vara ogynnsamt påverkar det sjukdomsförloppet. Inom epidemiologi inkluderas även tid och människor som faktorer, vilket kan illustreras med en tetraeder (Agrios, 2008). För en patogen som *P. striiformis* där stora epidemier sker med jämna mellanrum, när väder och klimat är gynnsamt, är det viktigt att ha resistent värdväxt för att bryta triangeln. Det är enkelt för en patogen att sprida sig om värdväxten består av samma genetiska material över stora områden (Agrios, 2008) och därför är ett diversifierat sortval en bra metod för att minska spridning (Berg, 1994).

2.6 Fenotyp och genotyp

Munken Gregor Mendels forskning utgör än idag de grundläggande kunskaperna inom genetik. Det var han som myntade begreppen fenotyp och genotyp. Fenotyp beskriver de synliga egenskaperna t.ex. färg och form medan genotyp står för den genetiska koden (DNA) (Gentekniknämnden, 2015). Vid rasbestämning av gulrost bedöms fenotypen utifrån olika infektionstyper. Infektionstyperna skiljer sig åt i mängden klorotiska- och nekrotiska fläckar samt mängden urediniosporer (Line *et al.*, 1970). Rasbestämning är således en okulär bedömning.

2.7 Växtskydd med fungicider

Den ekonomiskt mest lönsamma metoden att förhindra gulrost är genom resistent sorter men kemisk bekämpning är trots allt ett viktigt verktyg mot skadegöraren. Inte minst med tanke på att växtförädlarna har bekymmer med att skapa långsiktig resistens (Holmkrantz, 2015). De svenska rekommendationerna bygger på försöksserier och erfarenheter från praktisk odling. Rekommendationerna bygger också på integrerat växtskydd som alla

yrkesmässiga odlare ska tillämpa från 1 januari 2015 vilket innebär att angrepp av skadegörare ska förebyggas, bekämpningen ska vara behovsanpassad och resultaten följas upp (Jordbruksverket, 2015a).

Bekämpningströskel i form av ett riktvärde för känsliga och mycket känsliga sorter (Jordbruksverket, 2015a):

- DC 30-37: begynnande angrepp
- DC 39-59: >1% angripna plantor
- DC 61-71: >10% angripna plantor

Från sortförsöken 2015 är Primus och Matrix exempel på mycket känsliga sorter. Sorterna Norin, Olivin och Memory är exempel på känsliga sorter medan Julius, Ellvis och Mariboss är exempel på mindre känsliga sorter. Vid starka angrepp kan behandling behövas även innan DC 30 och efter DC 59.

Bekämpningströskel i form av ett riktvärde för mindre känsliga sorter (Jordbruksverket, 2015a):

- DC 30-59: >1% angripna plantor
- DC 61-71: >50% angripna plantor

Tabell 3. Fungicid (förkortning), som använts i svenska respektive danska försök publicerade i tabell 4, 5 & 6.

Preparat Sverige	Aktiv substans	Preparat Danmark	Aktiv substans
Bumper (Bu)	Propikonazol	Rubric (Ru)	Epoxikonazol
Forbel (F)	Fenpropimorph	Prosaro (Pr)	Tebukonazol+
			Protiokonazol
Proline (P)	Protiokonazol	Viverda (Vi)	Epoxikonazol
			Pyraclostrobin
			Boscalid
Comet Pro (CP)	Pyraclostrobin		
Armure (Ar)	Difenokonazol+		
	Propikonazol		
Acanto (Ac)	Pikoxystrobin		

Tabell 4. Försök L9-1026-2015. Behandlingstidpunkter mot gulrost i den mycket känsliga höstvetesorten Audi, Jordberga Gård, Klagstorp.
Skörd och merskörd (kg/ha) och fungiciddoser (l/ha) (Sverigeförsöken, 2015).

Led	Behandlingar, tidpunkt och dos (l/ha)					Skörd och merskörd	
	DC 30-31	2 veckor*	3 veckor*	4 veckor*	DC 61	Kg/ha	Relativ tal
1	Obehandlat					6 210	100
2	Bu0,125+F0,125	P0,4+CP0,3			Ar0,4	+4 900	179
3	Bu0,125+F0,125		P0,4+CP0,3		Ar0,4	+4 810	177
4	Bu0,125+F0,125			P0,4+CP0,3	Ar0,4	+4 360	170
5	Ac0,2+F0,25	P0,4+CP0,3			Ar0,4	+4 750	177
6	Ac0,2+F0,25		P0,4+CP0,3		Ar0,4	+4 630	174
7	Ac0,2+F0,25			P0,4+CP0,3	Ar0,4	+4 210	168

* antal veckor efter första behandling i DC 30-31.

I försöksled L9-1026-2015 i Skåneförsöken (tabell 5) skiljer sig tydligt skördenivån i det obehandlade ledet från samtliga behandlade led. Behandling två veckor efter första behandling gav störst merskörd (led 2 och 5), 79% respektive 77% jämfört med det obehandlade ledet.

Tabell 5. Försöksserie 15362-1. Behandlingstidpunkter mot gulrost i rågvete. Gulrost (% angripen bladyta) och fungiciddoser (l/ha) Försöket är gjort i sorten Gringo i Flakkebjerg, Danmark (Nistrup Jørgensen, 2015).

			% gulrost blad 3	% gulrost blad 2+3	% gulrost blad 2	% gulrost flaggblad	Skörd	
Led	Behandling	Tidpunkt	DC 37	DC 59	DC 71	DC 75	Kg/ha	Relativ tal
1	Obehandlad		15	88	100	100	790	100
2	4 x 0,25 l Ru	DC 30, 32, 39, 55	0,3	1	1,8	1,3	+7 330	1028
3	2 x 0,5 l Ru	DC 32, 55	0,4	5,8	3	5,5	+6 350	904
4	0,5 l Pr/0,4 l P	DC 32, 55	0,3	31	53	55	+4 280	642
5	2 x 0,75 l Vi	DC 32, 55	0,2	7,3	3	2,0	+7 510	1051
6	1,5 l Vi	DC 39	9,3	20	5	3,5	+6 320	900

Bekämpning av gulrost med fungicider har en stor betydelse i mottagliga sorter vilket syns i tabell 4 & 5, där lyckad bekämpning gett stor skillnad i skörd. I takt med att blandningsprodukterna Tilt Top (propikonazol + fenpropimorph) och Jenton (pyraklostrobin + fenpropimorph) avregistreras i Sverige finns det

idag endast ett preparat med viss kurativ effekt i form av morfolinen Forbel (fenpropimorph). Användningen begränsas däremot av förändrade användningsvillkor. Det gör att bekämpningen förlitas mer till preventiva strobiluriner och då krävs det upprepade behandlingar för att få stopp på gulrosten (Berg *et al.*, 2015a). Rekommendationen från Jordbruksverket är att använda Forbel alternativt i kombination med propikonazol (Tilt/Bumper/Barclay Bolt XL), vid tidiga angrepp, och från DC 32-37 använda en strobilurin (t.ex. Comet Pro, Acanto eller Amistar/Mirador) i kombination med Forbel. Triazolerna har en stoppande effekt medan strobilurinerna har bättre långtidseffekt (Jordbruksverket, 2013). Tidpunkten har större betydelse än dosen (Jordbruksverket, 2015a) och enligt tabell 4 är två till tre veckor det bästa intervallet mellan behandlingarna. Vid längre intervall tappar preparaten effekt.

Tabell 6. Försöksled L15-1025 "Strategi med betning mot gulrost i höstvet" i sorten Audi. Visar betning i kombination med olika behandlingar i DC31-32, DC37-39 och DC55-59. Fungiciddoser betning (ml/kg) och fungiciddoser besprutning (l/ha). Försöksvärd Jordberga gård, Klagstorp.

Led	Behandlingar, tidpunkt och dos (l/ha)								Skörd och merskörd	
	Betning		DC31-32		DC37-39		DC55-59		Kg/ha	Relativ tal
1	Celest FormulaM	2,0	Obeh		Obeh		Obeh		4 750	100
2	Systiva	1,5	Obeh		Obeh		Obeh		5 040	106
3	Systiva	1,5	Obeh		Obeh		Armure	0,4	6 030	127
4	Systiva	1,5	Obeh		Jenton +Proline	0,5+0,4	Armure	0,4	10 300	217
5	Systiva	1,5	Forbel+Tilt	0,125+0,125	Jenton +Proline	0,5+0,4	Armure	0,4	12 280	259
6	Celest FormulaM	2,0	Forbel+Tilt	0,125+0,125	Jenton +Proline	0,5+0,4	Armure	0,4	11 840	249

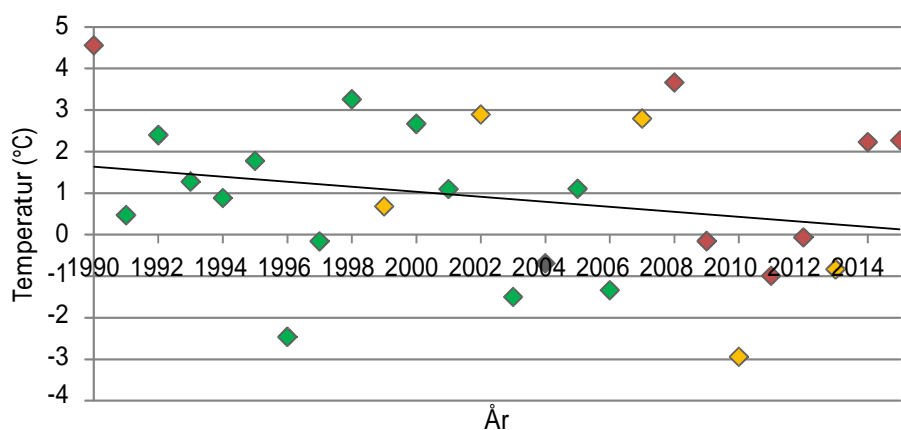
I England kan betning användas som en metod i bekämpningsstrategin mot gulrost och sedan 2012 finns en försöksserie i Skåneförsöken om detta (Hushållningssällskapet, 2014). Två olika betningsmedel har använts, dels Celest Formula M som saknar effekt mot gulrost, och även Systiva som är en SDHI-produkt (ej registrerad i Sverige) med känd effekt (Berg & Aldén, 2014). Under 2012 noterades tydliga effekter av Systiva men under både 2014 och 2015 var effekten av Systiva mindre tydlig. Bekämpningen i DC 37-39 gav högst merskörd (tabell 6).

I Sverige finns inga registrerade preparat mot gulrost på hösten, och under åren 2011-2014 fanns en försöksserie (L15-1020) för att undersöka effekten av en höstbehandling. Resultaten visade att det inte ger någon merskörd, förutom under 2012, då behandlingen gav ca 500 kg i merskörd oavsett preparatval. Det anses bero på fysiologiska effekter och inte på någon effekt av bekämpning av gulrost (Berg & Aldén, 2012).

2.8 Växtodlingssäsongen 2015 i Skåne

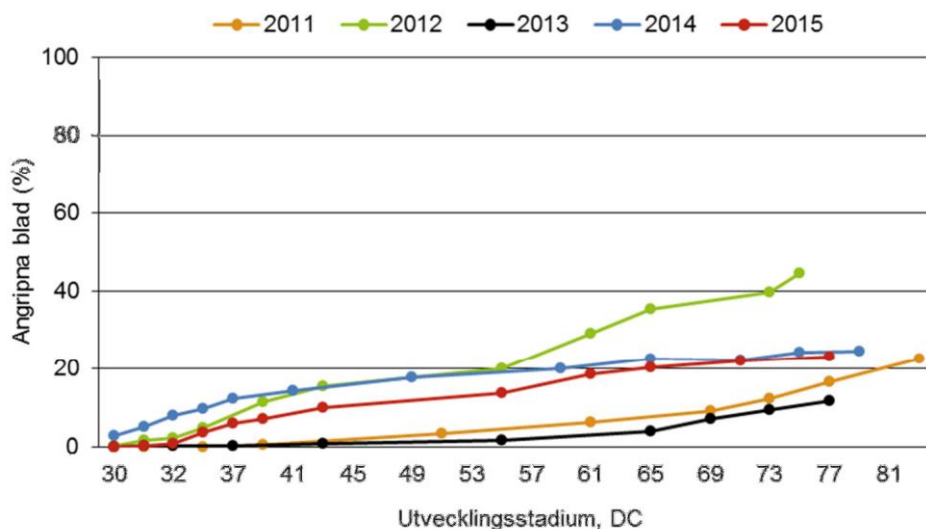
Hösten 2014 var mild och ledde till kraftiga bestånd i många höstsädesfält. Angrepp av rost fanns på flera håll men svårigheten att skilja på brunrost och gulrost på hösten gjorde att angreppsgraden av gulrost var svår att fastställa (Jordbruksverket, 2015d). Början på året fortsatte att vara mild, och både januari och februari var mildare än normalt (SMHI, 2015b). De två första månadernas medeltemperatur tillhörde topp tio av de senaste 25 åren (figur 4). Nederbörden under vintermånaderna var större än normalt och i Ystad var det den största vinternederbörden sedan mätningarna startade år 1880 (SMHI, 2015b).

Våren började med en varm mars, normal april och en sval maj. Sommarens ankomst påverkades av den låga temperaturen och i slutet av maj hade endast kusten meteorologisk sommar. Våren blev blöt med en hel del ostadigt väder. Juni fortsatte vara kall, liksom juli, förutom en vecka i början på månaden som hade högsommartemperatur (SMHI, 2015b).



Figur 4. Medeltemperatur i januari-februari under perioden 1990-2015 i Lund. År med gröna figurer betyder <5 % angripna blad av gulrost, gula figurer betyder 5-20% angripna blad och röda figurer betyder >20 % angripna blad (SMHI, 2015a och Berg *et al.*, 2015b).

Medeltemperaturen för perioden januari-februari under åren 1990-2015 visas i figur 4 i kombination med angreppsgrad av gulrost. Vid en analys i Danmark där väder- och angreppsdata analyserats blev slutsatsen att temperaturen i januari och februari starkt korrelerar med angreppen av gulrost i DC 32-45 (Berg, 1994).



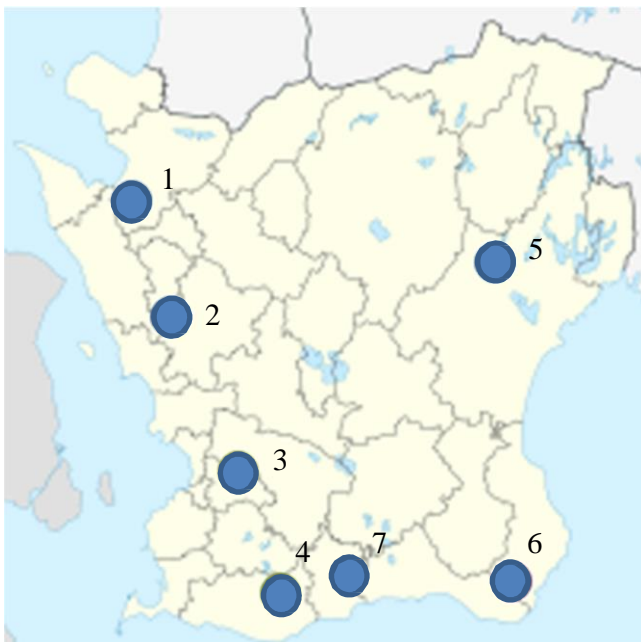
Figur 5. Gulrostens utveckling under odlingssäsongerna 2011-2015 som ett genomsnitt av alla sorter (Berg *et al.*, 2015b).

Graderingarna från de senaste fem åren (figur 5) visar hur angreppen av gulrost utvecklats senaste fem åren. Slutangreppen 2011, 2014 och 2015 var ungefär lika stora men det var stor skillnad under säsongen då angreppen kom sent 2011 och tidigt 2014.

3. Material och metoder

3.1 Gradering i sortförsök

I Skåneförsöken fanns under 2015 försöket L7-101.2015, ett sortförsök med 60 höstvetesorter i två led, varav ett led behandlats med fungicider. Försöket låg utspritt på sex platser i Skåne vilka var Sandby, Uppåkra, Klagstorp, Ekeby, Önnestad och Ängelholm (figur 6). Under 2014 var angreppen störst i sydvästra Skåne, och därför valdes platserna Uppåkra utanför Lund och Klagstorp på Söderslätt för gradering. Då det under 2015 visade sig vara störst angrepp av gulrost i sydöstra Skåne gjordes även en gradering i Sandby på Österlen. I rågvete gjordes en provtagning i Rydsgård i sortförsöket L7-212.2015 och en i vårvete nära höstveteförsöket i Uppåkra i sortförsöket L7-301.2015.



Figur 6. Försöksplatser i försöksserie för höstvete L7-101.2015. 1. Ängelholm; 2. Ekeby; 3. Uppåkra; 4. Klagstorp; 5. Önnestad; 6. Sandby. Försöksserie för rågvete L7-212.2015; 7. Rydsgård.

3.2 Val av sorter

Utifrån 60 sorter i sortförsöken valdes 12 stycken att följa över tid. Urvalet gjordes tillsammans med Gunilla Berg (pers. kommentar 2015) på Växtskyddscentralen Alnarp tidigt på säsongen. Både mottagliga och mindre mottagliga sorter valdes ut. Mottagligheten baserades på erfarenheter från tidigare år.

Tabell 7. Sorter som använts för gradering av gulrost i skånska sortförsöken.

Sorter	Sortförädlare
Olivin	Monsanto, Tyskland
Ellvis	SJB, Tyskland
Hereford	Sejet, Danmark
Brons	Lantmännen SW Seed, Sverige
Mariboss	Nordic Seed, Danmark
Praktik	RAGT Seeds, England
Julius	KWS Saat AG, Tyskland
Memory	Secobra Recherches, Maule, Frankrike
Norin	Lantmännen SW Seed Hadmersleben, Tyskland
Nordh	Nordsaat Saatzeitgesellschaft mbH, Böhnshausen, Tyskland
Primus	Deutsche Saatveredelung AG, Tyskland
Matrix	Deutsche Saatveredelung AG, Tyskland

3.3 Graderingsmetod och angreppens utvecklingshastighet

Graderingen gjordes vid sju tillfällen i två av sortförsöken, vilka var Uppåkra och Klagstorp i södra Skåne. En gradering gjordes också i Sandby eftersom det under säsongen visade sig vara stora angrepp på Österlen. Första graderingen gjordes den 2 april och den sista graderingen gjordes runt den 10 juli. Tiden mellan varje gradering var cirka två veckor, förutom mellan första och andra graderingen då det var en månad. Metodiken är en enligt en dansk modell och det är en okulär bedömning av angrepp i parcellen (tabell 8).

Tabell 8. Graderingsskala (% angripen yta) och beskrivning av symptom i parcellen (SEGES, 2015).

Skala %	Symptom
0	Inget angrepp
0,01	En eller ganska få pustlar/ränder i hela parcellen
0,1	Enstaka pustlar/planta ojämnt fördelat i parcellen
0,5	Enstaka pustlar/strå ojämnt fördelat i parcellen
1	En del pustlar per strå på nedre bladen
5	Flera blad med sammanhängande pustlar; flera foci per parcell
10	Utbrett angrepp i många foci; många blad med 25 % angrepp eller mer
25	Foci med 50 % angrepp eller mer
50	25 % grönt, översta bladen mycket vissna. Svårt att se gula sporer

75	Hälften av bladen vissna, nedre 75-100 %, övre ca 25 %
100	Inga gröna växtdelar

Utvecklingshastigheten (r) på angreppen räknades ut med formeln $r = \text{LN}((x*0,01)/(1-(x*0,01)))$ för att jämföra hur snabbt angreppen utvecklade sig mellan sorter och platser. Lutningen på linjen anger utvecklingshastigheten, ju brantare lutning (högre värde), desto snabbare angreppsutveckling. Mängden angrepp bestämdes med hjälp av 'Area under disease progress curve' (AUDPC).

3.4 Rasbestämning

Provtagning i fält

I varje fält/försöksruta togs slumpmässigt 3-5 blad med tydligt separerade pustlar, helst unga blad eftersom de är mer livskraftiga än gamla blad. De veks sedan individuellt och stoppades i glycinpåsar eller papperspåsar (ej plastpåsar) för att undvika uttorkning och skruvade blad. Bladen förvarades sedan under press i 12-24 timmar i rumstemperatur innan påsarna förslöts med tejp. För transport till Global Rust Reference Center stoppades påsarna i enskilda kuvert för att undvika kontaminering mellan proverna. Kuverten förslöts i separata rum med separata labbrockar och rena handskar. Det slutliga paketet rengjordes med alkohol (70 %) för att undvika spridning av sporer vid transport.

Inokulera en mottaglig sort

Isolat som skickas får vara högst en månad gamla eftersom urediniosporerna måste vara livsdugliga. Arbetet på GRRC för detta examensarbete gjordes i september, och då var de inskickade isolaten redan inokulerade så därför gjordes en simulerad variant med blad från växthuset i Flakkebjerg.



Bild 6. Blad med gulrost läggs på fuktat papper. Foto: Mikael Nilsson.



Bild 5. Blad på fuktat papper inför inokulering. Foto: Mikael Nilsson.

Det torkade bladet lades i en petriskål på ett filterpapper fuktat med 3,5 ml vatten. Ifall proverna är färska används mindre vatten eftersom det annars kan bli för fuktigt. Provet inkuberades ett dygn i ljus, 13°C lufttemperatur och 100 % luftfuktighet vilket är ett passande klimat för tillväxt av urediniosporer. Tiden kan variera beroende på hur bra bladet och sporererna är på att ta upp vatten.

För uppförökning av urediniosporer infekterades 5-6 veteplantor av mottaglig sort, till exempel Cartago, Anja eller Morocco. Överföringen av sporer gjordes genom att dra det inkuberade bladet mot veteplantorna med en pincett. Plantorna hade då 1,5 blad utvecklat och var cirka 10-12 dagar gamla. En mottaglig sort räcker oftast för att få angrepp men är det någon osäkerhet kring provet kan flera olika sorter användas i en kruka. Allt för att vara säker på gulrostangrepp i ett första steg och när det visat sig vilken sort som fått störst angrepp, kan provet renodlas för att snabbt få fram mycket sporer. Plantorna var sådda i krukor med cirka 0,3 liter Pindstrup substrat som är en färdigblandad jord med näring (Pindstrup Mosebrug A/S, Ryomgaard, Danmark). Plantorna var behandlade med det tillväxtreglerande medlet maleinhydrazid vilket gynnar sporutvecklingen som är bra vid uppförökning av sporer. Denna påverkan är vilseledande vid rasbestämning och därför användes det inte i differentialuppsättningen.

Plantorna placerades i en plastlåda med lock efter inokuleringen och både plantor och behållare sprayades med vatten för att skapa en fuktig miljö för sporererna. Innan lådorna placerades i växthuset stod de i cirka ett dygn i en klimatkammare utan ljus med 100% luftfuktighet och 10°C lufttemperatur. I växthuset utsattes plantorna sedan för omväxlande 17°C i 16 timmar ljus och 12°C i 8 timmar mörker. Luftfuktigheten var 75-90% och artificiellt ljus på 50-100 $\mu\text{Em}^{-2} \text{ s}^{-1}$ tillsattes när dagsljuset var under 10 000 lux.

Uppförökning av sporer

När de första symptomen av rost uppstod som små klorotiska fläckar efter 9-10 dagar sattes cellofanpåsar på krukorna vilket är tätt för sporer men släpper igenom luft. De kommande urediniosporerna kunde därmed inte spridas i växthuset. Från inokulation till skörd var det 18 dagar men det kan variera mellan 10-30 dagar beroende på säsong och väder. Normalt är det bäst att skörda sporererna efter 15-21 dagar.

När urediniosporerna skördades veks bladen ner för att kunna slå av sporererna och samla dem i cellofanet utan risk för inblandning av jord (bild 7). I en hörna i toppen på cellofanet gjordes sedan ett hål där sporererna togs ut och samlades på en pappersbit likt bakplåtspapper (bild 8). Därifrån fördes sporererna ner i sterila 2 ml cryo-rör för att sedan torkas i en exsickator i 2-3 dagar innan lagring. Hålet i cellofanet täcktes genom att häfta fast en klisterlapp.



Bild 8. Krukor med cellofan och skördade urediniosporer. Foto: Mikael Nilsson.



Bild 7. Uppsamlade urediniosporer. Foto: Mikael Nilsson.

Inokulering av sporer på differentialset

När det fanns tillräckligt med urediniosporer av ett isolat inokulerades dessa på ett differentialset bestående av 20 olika vetesorter. Varje sort har en resistensgen mot gulrost (tabell 9). Plantorna var även i detta steg i DC 11-12 vid inokulering, och det är viktigt att blad nummer två börjat komma fram eftersom graderingen senare utfördes på både bladnivå ett och två. Sporer som



Bild 9. Svenska urediniosporer på sorterna Morocco, Anja och Cartago. Foto: Mikael Nilsson.



Bild 10. Inokulering med urediniosporer på differentialuppsättning. Foto: Ellen Jörgensen.

hade förvarats i flytande kväve värmechockades (42 °C i två minuter) innan inokulering. Sporer som hela tiden förvarats i cryo-rör blandades med 1,5 ml olja (NOVEC™ 7100, 3M) vilket gjorde innehållet till en oljebaserad suspension. Sporer sprutades på plantorna med hjälp av tryckluft från något som liknar en färgspruta för att få jämn täckning och efteråt tillsattes vatten

med sprayflaska för att skapa en fuktig miljö för sporer. Mellan de olika proven rengjordes munstycket med vatten och sprit. Inokulerade plantor utsattes, precis som vid uppförökning av sporer, för 100% luftfuktighet, 10°C lufttemperatur i mörker i ett dygn innan de placerades i växthus.

Tabell 9. Sorter i differentialuppsättningen samt resistensgener mot gulrost.

Sort	<i>Yr-gen</i>	Sort	<i>Yr-gen</i>
Cartago	-	Moro	10
Chinese 166	1	Cortez	15
Kalyansona	2	VPM1, 39,2	17
Vilmorin	3	Avocet <i>Yr 17</i>	17
Hybrid 46	4	TP981 darkg.	25
Heines Kolben	6	Opata	27
Avocet <i>Yr 6</i>	6	Carstens V	32 och 25
Lee	7	Avocet S	Av S
Avocet <i>Yr 8</i>	8	Ambition	Amb
Avocet <i>Yr 9</i>	9	Avocet SP	Sp, Av S.

Rasbestämning

Rasbestämningen gjordes 15-18 dagar efter inokulering, men tiden kan variera beroende på säsong. På sommaren växer det fortare än under vintern. Graderingen gjordes genom att bedöma infektionstypen på bladnivå ett och två i form av kloroser, nekroser eller urediniosporer var för sig eller i kombination. En skala från 0 till 9 användes där 0-6 räknas som avirulent och 7-9 som virulent (Line *et al.*, 1970). Det finns olika metoder för rasbestämning exempelvis finns differentialuppsättningar på både 20- och 35 sorter. På GRRC används i de flesta fall den lilla uppsättningen. Skillnaden mellan dem är att ytterligare några resistensgener kan inkluderas och flera sorter med samma resistensgener, fast från olika förädlingslinjer, kan användas och på så vis fås ett tydligare resultat. Nackdelen med fler sorter är att det tar mer tid och för de vanligaste raserna räcker det med 20 sorter. Därför använder GRRC endast 35 sorter som ett extra steg ifall det finns några frågetecken från den lilla uppsättningen.



Bild 11. Överst: Infektionstyp två. Höger: Infektionstyp sju. Underst: Rasbestämning i växthus med differentialuppsättning. Fotograf Mikael Nilsson.

3.5 Genetiska analyser med mikrosatelliter

I samband med graderingen i sortförsöken samlades det vid olika tidpunkter in isolat med sporulerande gulrost för att kunna göra en genotypning av *P. striiformis*. Vid varje tidpunkt samlades slumpmässigt cirka tio blad med enskilda pustlar från parceller med angrepp. De togs utanför parcellerna i förlängningen av sådragen för att inte påverka försöket. Bladen torkades och förvarades i papperspåsar i rumstemperatur. Förutom isolat från höstveten i sortförsöken insamlades även prov från ett sortförsök i vårvete i Uppåkra och ett sortförsök i rågvete i Rydsgård. På Öland hittades ovanligt mycket gulrost i sorten Brons under säsongen och några prov därifrån inkluderades i studien.

Enskilda pustlar av gulrost klipptes ut från de torkade bladen och placerades i 2,0 ml plaströr tillsammans med femton stycken 2 mm glaskulor och en knivsudd diatomaceous earth. Tillsatserna användes för att slå sönder sporer i en homogenisator (Precellys®24) inför DNA-extraktionen och proverna kördes i 2 gånger 30 sekunder på 5000 rpm. Extraktionen av DNA gjordes med ett *OmniPrep*™-kit (www.gbiosciences.com) enligt tillverkarens instruktioner och efter extraktionen mättes koncentrationen av DNA med en spektrofotometer (NanoDrop 3300). Proverna späddes med vatten till koncentrationen 20 ng/μl och en total volym på 200 μl.

En PCR-reaktion, Polymerase chain reaction, med mikrosatellitmarkörer gjordes med två markörer per master-mix (tabell 10). Markörerna delades upp i par med olika fluorescens för att det skulle kunna gå att skilja dem åt i senare steg (tabell 11). I varje reaktion användes 12 μl master-mix och 3 μl prov. I

PCR-programmet gjordes en denaturering vid 94°C i 5 minuter, 35 cykler med 94°C i 30 sekunder, 55°C i 30 sekunder och 72°C i 30 sekunder och till sist 72°C i 10 minuter för att sedan sluta på 4°C.

Tabell 10. Volym och koncentration av komponenter i master-mix till PCR-reaktion.

Komponent	Koncentration	Volym per prov (µl)
Dream Taq Buffer		1,5
dNTP		1,5
MgCl ₂ (25 mM)	25 mM	2,4
Dream Taq DNA polymerase		0,12
Primer Forward	10 mM	0,45
Primer Reverse	10 mM	0,45
Vatten		4,68

Tabell 11. Mikrosatellitmarkörer och dess fluorescens i PCR-reaktion.

Primer	Fluorescens
RJ3N	HEX
RJ4N	FAM
RJ13N	HEX
RJ17	FAM
RJ20	HEX
RJ8N	FAM
RJ13	HEX
RJ11N	FAM
RJ3	HEX
RJ9N	FAM
RJ4	HEX
RJ6N	NED
RJ5N	NED
RJ21	FAM
RJ10N	NED
RJ27	FAM

För att kontrollera om PCR-reaktionen fungerat gjordes en elektrofores på 1,2 % agarosgel som kördes i 30 minuter på 250 volt. Gelen färgades med 1 µl Nancy per 50 ml gel.

Analysen av proverna gjordes med en kapillär elektrofores på SciLifeLab i Uppsala i en ABI3730XL DNA Analyzer (Applied Biosystems) och resultaten tolkades med hjälp av mjukvaran Genemarker v.2.6.4. (SoftGenetics). Topparna lästes av manuellt för varje loci. För den statistiska analysen

användes GenAlEx 6.502 (Peakall och Smouse 2006, 2012) som är ett add-in i Excel. Datasetet klonkorregerades innan analyserna och korrigeringen gjordes efter populationsindelningen. En genotyp ansågs vara klon om den hade samma allelstorlek för samtliga loci som en annan genotyp. Saknades värde för ett loci men värdena i övrigt var lika ansågs dessa ändå vara kloner.

Proverna delades in i nio populationer med gulrost från höstvetete i tre tidsperioder för Uppåkra och Klagstorp samt en population för gulrost från vårvete respektive rågvete. Syftet med arbetet var att undersöka den genotypiska variationen under odlingssäsongen och tre tidsperioder valdes för att populationerna inte skulle bli för små.

Antalet unika multilocus genotyper (G) dividerades med totalt antal prov (N) för respektive population för att visa den genotypiska diversiteten. Värden nära 1 betyder stor diversitet och värden nära 0 betyder liten diversitet.

Populationerna jämfördes parvis genom att räkna ut F_{ST} -värden vilket visar hur de skiljer sig åt genetiskt och F_{IS} -värdet (inavelskoefficienten) indikerar om det skett någon klonal förökning och minskning i antalet heterozygoter. Beräkningarna gjordes med hjälp av följande formler:

$$F_{ST} = (H_T - H_e)/H_T \qquad F_{IS} = (H_e - H_0)/H_e$$

H_e är den förväntade heterozygositeten och H_T är den förväntade heterozygositeten hos den totala populationen. H_0 är den observerade heterozygositeten för underpopulationen, i detta fall de tre tidsperioderna på respektive plats.

Med en PCoA (Principal Coordinate Analysis) beräknades och visualiserades det genetiska avståndet mellan populationerna. AMOVA (analysis of molecular variance) beräknar hur mycket genotypisk variation som finns inom respektive mellan populationerna. Beräkningarna gjordes med mjukvaran GenAlEx 6.502 (Peakall och Smouse 2006, 2012).

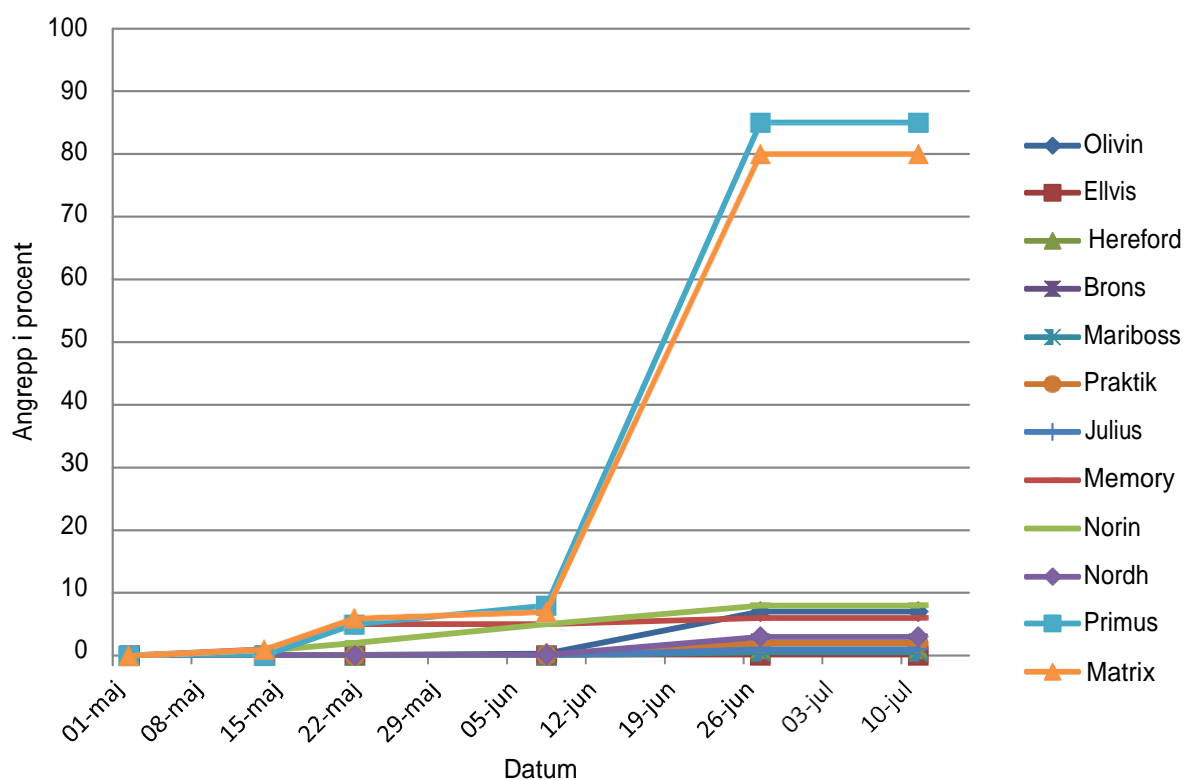
4. Resultat

4.1 Gradering i sortförsök

Den kalla våren innebar en sen start på växtodlingssäsongen vilket gjorde att angreppen kom senare 2015 än andra år, speciellt med säsongen 2014 färskt i minnet som var en tidig säsong. De första angreppen hittades i mitten av maj i DC 32 i både Klagstorp och Uppåkra. Det var framförallt i de mottagliga sorterna Primus, Matrix, Memory och Norin men även små angrepp i den mindre mottagliga sorten Julius i Uppåkra. Förekomsten av gulrost ökade i slutet av maj och början av juni men det stora utbrottet kom i slutet av juni. Framförallt sorterna Primus och Matrix var drabbade med angreppsgrad >60% på samtliga platser vilket ledde till stor skördepåverkan. Inga nya angrepp kunde hittas i början av juli. Det var endast sorten Mariboss som var fri från gulrost under odlingssäsongen 2015. Lite gulrost hittades i Mariboss i Uppåkra men det tros bero på sortinblandning.

Tabell 12. Datum och utvecklingsstadie för graderingarna i Uppåkra.

Gradering	Datum	Utvecklingsstadie (DC-skala)
1	2 maj	31
2	14 maj	32
3	22 maj	37
4	8 juni	47
5	27 juni	65
6	11 juli	75



Figur 7. Angrepp av gulrost i obehandlat led i sortförsök L7-101.2015 i Uppåkra.

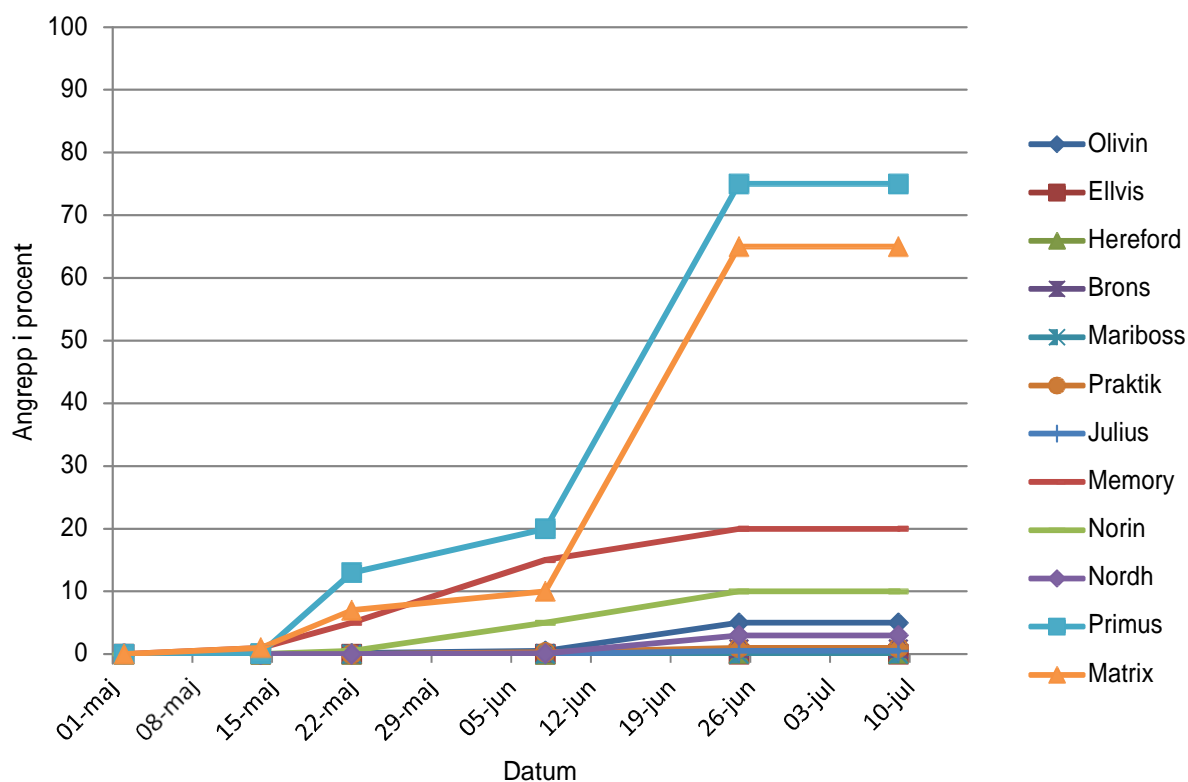
Tabell 13. Area Under Disease Progress Curve (AUDPC), utvecklingshastighet av gulrostantgrepp samt tidpunkt för första graderade angrepp i Uppåkra.

Sort	AUDPC	Utvecklingshastighet (r)	Tidpunkt första graderade angrepp
Primus	2 204,0	0,11	22 maj
Matrix	2 091,0	0,11	14 maj
Norin	311,0	0,04	14 maj
Memory	303,5	0,02	14 maj
Olivin	171,2	0,10	22 maj
Nordh	72,3	0,11	8 juni
Praktik	48,8	0,10	8 juni
Brons	47,0	-	27 juni
Julius	23,9	0,09	14 maj
Hereford	23,5	-	27 juni
Mariboss	11,8	-	27 juni
Ellvis	0,2	-	27 juni

I Uppåkra var angreppen generellt högre för de allra mottagligaste sorterna Primus och Matrix, men även för de minst mottagliga sorterna. Sorterna Norin och Memory räknas som mottagliga sorter men de visade på lägre angrepp i Uppåkra än i Klagstorp. Utvecklingshastigheten varierade mellan sorterna men framförallt Norin och Memory utmärkte sig med låg utvecklingshastighet.

Tabell 14. Datum och utvecklingsstadie för graderingarna i Klagstorp.

Gradering	Datum	Utvecklingsstadie (DC-skala)
1	2 maj	32
2	14 maj	32
3	22 maj	37
4	8 juni	45
5	25 juni	65
6	9 juli	73



Figur 8. Angrepp av gulrost i obehandlat led i sortförsök L7-101.2015 i Klagstorp.

Tabell 15. Area Under Disease Progress Curve (AUDPC), utvecklingshastighet av gulrostangrepp samt tidpunkt för första graderade angrepp i Klagstorp.

Sort	AUDPC	Utvecklingshastighet (r)	Tidpunkt första graderade angrepp
Primus	2 286,0	0,12	14 maj
Matrix	1 805,0	0,09	14 maj
Memory	812,5	0,05	14 maj
Norin	331,4	0,11	14 maj
Olivin	128,0	0,09	22 maj
Nordh	72,3	0,11	8 juni
Praktik	28,9	0,04	8 juni
Brons	20,6	0,07	8 juni
Julius	11,9	0,13	8 juni
Hereford	2,5	0,08	8 juni
Ellvis	0,4	-	8 juni
Mariboss	0,0	-	-

I Klagstorp varierade utvecklingshastigheten mer än i Uppåkra. Slutangreppen följde tidpunkten för första angrepp eftersom rangordning efter slutangrepp även ger en rangordnad lista efter första graderade angrepp.

Enligt Shaner & Powelson (1971) (Shaner & Powelson, 1971) varierar utvecklingshastigheten av gulrost i vete mellan 0,1 – 0,25 enheter per dag. Inom detta intervall räcker 2-3 infekterade blad per hektar i februari, för att vid gynnsamt väder utlösa en epidemi senare på säsongen.

Tabell 16. Angrepp av gulrost i Sandby den 12 juni i DC 53.

Sorter	Angrepp i procent
Primus	75
Matrix	60
Olivin	15
Memory	10
Norin	9
Nordh	7
Praktik	3
Julius	0,3
Hereford	0,1
Brons	0,01
Ellvis	0,01
Mariboss	0

4.2 Rasbestämning

Årets resultat av de svenska proverna visar att de vanligaste raserna 2015 var Kranich, Warrior och Triticale 2006 (ny benämning på Triticale aggressive). En variant av Warrior-rasen har konstaterats, vilken finns i större delen av Europa. Dessutom har en ny ras konstaterats vilken upptäcktes i prov insamlade från rågvete och vårvete men inte i höstvet. Den har fått namnet Triticale 2015 och liknar rasen Triticale 2006 som var vanlig främst 2009, 2010 och 2012. Rasen Hereford är hittad i några enstaka prover men bör kontrolleras på ett större växtmaterial för att kunna konstateras som en egen ras (Hovmøller, personlig kommentar 2015).

Tabell 17. Vanligaste gulrostraserna i Sverige och virulenta *Yr-gener* i värdväxten.

Raser	Virulenta <i>Yr-gener</i>
Kranich	1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 25, 32
Warrior	1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 17, 25, 32, Sp, Amb
Warrior (-)	1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 17, 25, 32, Sp
Triticale 2006	2, 6, 7, 8, 10
Triticale 2015	2, 6, 7, 8, 9
Hereford	2, 3, 6, 7, 8, 25, 32

4.3 Genotypisk variation

Resultatet av klonkorrigeringen gjorde att endast ett prov från Öland fanns kvar och detta prov användes sedan enbart i PCoA eftersom det för övriga analyser inte gick att använda populationer med enbart ett prov. Population 3 från Uppåkra innehöll inte någon unik genotyp efter klonkorrigering och det är anledningen till att inga värden finns med i F_{ST} -analysen.

Tabell 18. Visar antalet populationer vilka är uppdelade efter tre perioder under odlingsäsongen i höstvet för Uppåkra och Klagstorp. Gulrost från vårvete och rågvete representerar vars en population. G/N är antalet genotyper dividerat med antalet individer i respektive population.

Population	Plats	Gröda	Tidpunkt	N	G/N
U1	Uppåkra	Höstvet	15-31 maj	21	0,48
U2	Uppåkra	Höstvet	1-14 juni	30	0,43
U3	Uppåkra	Höstvet	15-30 juni	10	0,1
K1	Klagstorp	Höstvet	15-31 maj	22	0,23
K2	Klagstorp	Höstvet	1-14 juni	27	0,11
K3	Klagstorp	Höstvet	15-30 juni	20	0,15
Vv	Uppåkra	Vårvete	15-30 juni	15	0,67
Rv	Rydsgård	Rågvete	15-30 juni	14	0,64

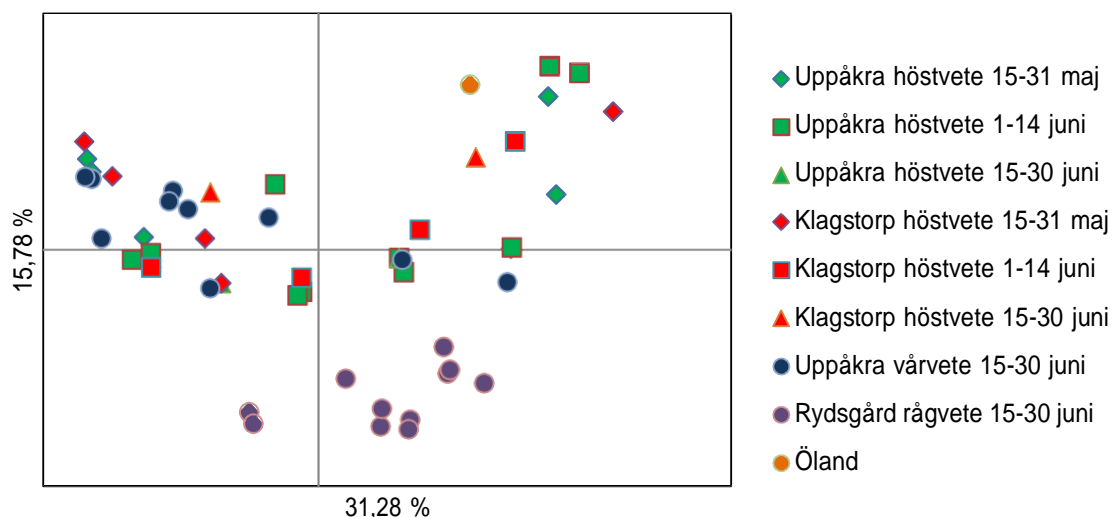
Den genotypiska diversiteten visade sig vara större bland prov insamlade i vårvete och rågvete än prov insamlade i höstvete. Den tidiga insamlingen i höstvete visade sig innehålla högre genotypisk diversitet än den sena.

Tabell 19. F_{ST} -värden för de olika populationerna.

	U1	U2	K1	K2	K3	Vv	Rv
U1	0,000	-	-	-	-	-	***
U2	0,000	0,000	-	-	-	**	***
K1	0,006	0,005	0,000	-	-	**	**
K2	0,070	0,011	0,000	0,000	-	***	*
K3	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	-	*
Vv	0,035	0,093	0,154	0,233	0,036	0,000	***
Rv	0,179	0,165	0,157	0,144	0,131	0,259	0,000

($P < 0,001$: ***, $P < 0,01$: **, $P < 0,05$: *)

Den parvisa jämförelsen av F_{ST} -värden varierade mellan 0,000-0,259. Enligt (Freeland *et al.*, 2011) betyder ett värde på 0-0,05 liten genetisk differentiering. Störst differentiering är det mellan populationen i rågvete och övriga populationer.



Figur 9. PCoA visualiserar den genetiska skillnaden mellan de olika populationerna.

PCoA visar att det inte finns någon differentiering mellan populationerna i höstvete i Uppåkra och Klagstorp, utan skillnaderna är lika stor inom populationerna. Det går heller inte att se någon tendens till att gulrosten tidigt på säsongen skiljer sig från gulrost insamlad senare under säsongen. Däremot

skiljer sig tydligt isolaten insamlade från rågvete från de övriga isolaten. Variationen förklaras till 31 % av första axeln och 16 % på andra axeln.

Tabell 20. Resultat från AMOVA. Visar genetisk variation inom och mellan populationerna.

Källa	Frihetsgrader	Sum of squares	MS	Varians	%
Mellan pop.	6	44,2	7,359	0,305	9 %
Inom pop.	99	288,8	2,917	2,917	91 %
Totalt	105	333,0		3,222	100 %

En AMOVA visade att det är större variation inom en population än mellan populationerna. Resultatet i tabell 20 visar att 91 % av variationen är inom populationen medan 9 % av variationen finns mellan populationerna.

5. Diskussion

Graderingen av angrepp i Uppåkra och Klagstorp (figur 7 & 8) blev ungefär som väntat baserat på tidigare års erfarenheter och det tyder på att inga nya raser funnits på dessa platser. Första angreppen kom senare 2015 än året innan (figur 5), däremot blev slutangreppen (AUDPC) ungefär lika stora. De första angreppen på våren 2014 konstaterades redan i slutet av mars (Berg *et al.*, 2014) men säsongen förblev tidig och skörden var på vissa håll i Skåne avklarad innan augusti. Det kan jämföras med 2015 då angreppen kom först i mitten av maj och skörden pågick hela augusti. Det visar att gulrosten kan angripa under ett brett tidsfönster och att angreppen följer utvecklingen hos stråsåden. Utvecklingshastigheten varierar också med åren och under säsongen (figur 5) samt mellan platser och sorter (tabell 13 & 15). Sporuleringen skedde under året i två omgångar fram till stråsådens avmognad, med den första omgången i mitten av maj och den andra i mitten av juni. De mycket mottagliga sorterna Matrix och Primus fick omfattande angrepp jämfört med övriga sorter. De var bland de tidigaste sorterna att bli angripna och deras utvecklingshastighet var hög särskilt för Primus som fick högst slutangrepp. Att döma av resultaten spelade tidpunkten för första angrepp större roll än utvecklingshastigheten under 2015. Det syns vid jämförelse av sorterna Memory, Nordh och Olivin, tre sorter med tre olika tidpunkter för första angrepp. I både Uppåkra och Klagstorp fick Memory första angrepp tidigast följt av Olivin och sist Nordh. Trots en låg utvecklingshastighet blev slutangreppen störst i Memory följt av Olivin. Utvecklingshastigheten i Olivin och Nordh var tämligen lika men för slutangreppen hade tidpunkten för första angrepp större betydelse. I tabell 13 & 15 är sorterna rangordnade efter 'Area under disease progress curve' (AUDPC). I båda tabellerna men särskilt för Klagstorp (tabell 15) syns att även tidpunkten för första angrepp rangordnas. Utvecklingshastigheten varierar oregelbundet och verkar ha mindre betydelse för slutangreppen. Intressant är ändå att utvecklingshastigheten för Memory är anmärkningsvärt låg. Det kan tyda på någon form av "slow rusting" och därmed vuxenplantsresistens. Angreppen på Memory är i klass med Primus och Matrix tidigt på säsongen men de fortsätter inte att öka efter axgång.

För praktisk odling är dessa resultat intressanta. Det betyder att ju längre in på säsongen som tidpunkten för första angrepp kan förskjutas, desto mindre blir slutangreppen. Bekämpningströskeln borde således vara, precis som Jordbruksverkets rekommendationer (Jordbruksverket, 2015a), låg tidigt på säsongen och höjas vartefter. För sorterna i denna studie blev slutangreppen max 3 % angripen bladyta om angreppen kom i samband med eller efter axgång. Detta trots hög utvecklingshastighet i många sorter med sent angrepp.

De senaste åren har flera nya raser av gulrost upptäckts i Sverige och odlingsäsongen 2015 var inget undantag. Rasen Triticale 2015 har upptäckts i

Skandinavien i odlingar av rågvete och vårvete med likheter till rasen Triticale 2006 men med skillnaden att den inte är virulent för *Yr10*. Rasen har däremot inte samlats in från höstvet. På senare tid har en variant av Warrior-rasen upptäckts och ökat i omfattning. Warrior (-) saknar virulens för *Yr-genen* Ambition (tabell 17) men detta väntas inte påverka det svenska sortmaterialet (Jordbruksverket, 2015b). I Skåne rapporterades det under sommaren 2015 om ovanligt stora angrepp i sorterna Hereford, Julius och Praktik på vissa platser enligt Berg (pers. kommentar 2015). Rasbestämda prover tagna i sorten Hereford under 2015 liknar ingen tidigare känd ras. För att konstatera att det är en ny ras måste genotypen också kontrolleras eftersom fenotypen enbart visar patogenens förmåga att infektera olika differentiallinjer. Genom att kontrollera genotypen kan dess gener och släktskap med andra befintliga raser kartläggas.

Resultatet från genotypningen visade att antalet unika genotyper blev färre längre in på säsongen och tydligast var den trenden i Uppåkra. Orsaken borde vara selektion bland genotyperna då den aggressivaste genotypen med kortast latenstid selekteras fram. Intressant var då att den genotypiska variationen var större i vårvete och rågvete än den var någon gång under säsongen i höstvet. Insamlingsplatsen var troligtvis mindre betydelsefull eftersom patogenen sprids över stora områden. Trots detta fanns det signifikanta skillnader mellan populationerna (tabell 19). Parvisa jämförelser visar att populationerna i rågvete och vårvete skiljde sig signifikant. Inbördes analys för höstvet visar att ingen av populationerna skiljde sig signifikant från varandra. PCoA (figur 9) tyder även den på att populationen i rågvete skiljde sig från övriga. Troligtvis är det en annan ras, men fenotypen skulle behöva kontrolleras på differentialset för att bekräfta det. AMOVA visade att det är störst diversitet inom populationerna och inte mellan dem. Det tyder på att gulrosten sprider sig över stora avstånd och att ingen population är avskild från någon annan.

Vid undersökning av den genotypiska variationen med mikrosatelliter visade det sig att många isolat var kloner särskilt i höstvet. Det är till viss del väntat men det kan även bero på fel i provtagningen då bladen från en parcell per tidpunkt samlades i samma påse. Bladen skulle förvarats åtskilt för att undvika kontaminering. Samma metod användes för insamling i vårvete och rågvete men trots risken för kontaminering visade sig den genotypiska variationen vara större i dessa grödor jämfört med höstvet under samma tidpunkt på säsongen. Skillnaderna mellan grödorna i antalet funna genotyper borde därmed inte bero på insamlingsmetoden.

Enligt undersökningar i Danmark korrelerar medeltemperaturen i januari och februari med angrepp av gulrost senare på säsongen (Berg, 1994). En varm vinter gav då stora gulrostantgrepp medan en kall vinter gav små angrepp. I figur 4 syns att denna slutsats stämde bra före 2008 men att det på senare år förekommit stora angrepp av gulrost även efter kalla vintrar med

medeltemperatur under 0°C. Det betyder att raserna kan ha anpassat sig och tål numera lägre temperaturer under vintermånaderna än vad de tidigare gjort. De senaste säsongernas variationer i utvecklingshastighet och slutangrepp gör det svårt att tidigt på säsongen bedöma hur omfattande angrepp det kommer att bli (figur 5).

Kemisk bekämpning är fortsatt effektiv mot gulrost vilket tydligt visar sig i fungicidförsöken (tabell 4, 5 & 6) och det är viktigt att även i framtiden ha effektiva preparat. Problemet är att de flesta preparat godkända i Sverige endast kan användas preventivt vilket är en nackdel då nya raser av gulrost uppträder och nya sorter angrips. Det är därför viktigt att som lantbrukare ha god uppsikt i fält under våren för att vid angrepp snabbt kunna agera. Tidigt på säsongen är Jordbruksverkets rekommendationer att första behandling ska ske så fort första angrepp syns i fält (Jordbruksverket, 2015a). Av försöksled L9-1026.2015 att döma så verkar inte preparaten mer än 2-3 veckor, varför flera behandlingar måste utföras (tabell 4). Timing är viktigare än dos vilket gör det svårt att kompensera för perioder med dåligt sprutväder. Skillnaden i skörd mellan ett intervall på två veckor jämfört med fyra veckor är cirka 500 kg per hektar oberoende av preparat i 2015 års försök. Liksom under 2014 fanns det en tendens till högre merskörd för Bumper+Forbel (försöksled 2-4) jämfört med Acanto+Forbel (försöksled 5-7) i den första behandlingen på säsongen. Det visar att strobilurinerna inte har samma effekt som triazolerna. Nackdelen med täta intervaller är att antalet bekämpningar ökar och under en säsong med högt smittotryck kan det krävas upp till fyra behandlingar för att kunna kontrollera svampen fullt ut (Berg & Aldén, 2014). I kommande års strategiförsök med fungicider, skulle ett led med endast bekämpning i utvecklingsstadierna DC 30-45 vara intressant. Kan gulrosten kontrolleras effektivt så långt är det möjligt att bekämpning i DC 55-60 inte är nödvändigt. Armure är det preparat som ofta används sent på säsongen och det är registrerat i DC 45-60. Täta intervall tidigt på säsongen och sista bekämpning i DC 45 innan axgång skulle baserat på detta arbete kunna räcka. Danmark har en fördel i sina bekämpningsstrategier eftersom de har tillgång till triazolerna epoxikonazol och tebukonazol som har en god effekt mot gulrost men de är inte registrerade i Sverige. Det som talar emot dessa triazoler är deras negativa miljö- och hälsoeffekter och det finns en risk att de inte godkänns vid nästa omregistrering på EU-nivå (Kemikalieinspektionen, 2015).

Betning mot gulrost har inte haft den effekt som önskats, åtminstone inte under 2014 och 2015. I försöken har betning testats på mycket mottagliga sorter och det höga smittotrycket kan säkert påverka hur bra betningen skyddar. Det skulle vara intressant att testa samma försök på en mindre mottaglig sort för att se om effekten varar längre vid lägre smittotryck. Försök på vårvete skulle också vara intressant för att se om betningens effekt är bättre på våren. Betningen skulle potentiellt kunna stå emot angrepp i ett tidigt skede och eventuellt kunna

senarelägga första bekämpningen. Det skulle vara en styrka i bekämpningsstrategin inte minst med tanke på resultaten från graderingen i sortförsöken (tabell 13 & 15). Ju senare första angrepp av gulrost kommer desto mindre blir slutangreppen.

De senaste årens ökande problem med gulrost i Sverige betyder nya utmaningar för lantbruksbranschen allt från sortförädlare, växtskyddsföretag till lantbrukare och rådgivare. Den mest effektiva förebyggande åtgärden med tanke på både ekonomi och miljö är att odla resistent sorter (Chen, 2005) vilket även ligger inom ramarna för IPM (integrated pest management). Tidigare har sortmaterialet varit motståndskraftigt mot den gulrost som förekommit men i takt med att patogenen blivit aggressivare och den snabbare utvecklingen av nya raser är det svårare att kontrollera den. Inte minst i ekologisk odling är det en stor utmaning eftersom sortmaterialet är det främsta vapnet mot gulrostangrepp. Fokus ligger numera på att ta fram sorter med vuxenplantsresistens men möjligtvis bör även fokus läggas på sorter med tidig utveckling på våren. Det skulle potentiellt vara en styrka i bekämpningsstrategin eftersom plantornas motståndskraft ökar med utvecklingsstadier. Utveckling av sortmaterial sker på lång sikt men på kort sikt blir det allt viktigare att kontinuerligt undersöka populationen av gulrost, och hur sjukdomen uppträder i olika sorter.

6. Slutsats

I arbetet skulle följande frågeställningar besvaras utifrån valda metoder

- Gradering av gulrost i sortförsök
När på säsongen kommer angreppen och hur utvecklas de i olika sorter?

Graderingen i sortförsöken visade att angreppen 2015 kom i mitten av maj och det stora utbrottet kom i första halvan av juni. Tidpunkten för första angrepp hade större betydelse för slutangreppen än utvecklingshastigheten. Ju tidigare angrepp desto större slutangrepp.

- Rasbestämning med differentialset
Vilka raser av gulrost förekommer och har det kommit in någon ny ras under 2015?

I Skåne förekom främst raserna Kranich, Warrior och Triticale 2006 under odlingssäsongen 2015. Det har även bekräftats en ny ras på rågvete och vårvete kallad Triticale 2015. Eventuellt ytterligare en ny ras på höstveten men det måste bekräftas med ytterligare tester.

- Genetiska analyser med mikrosatelliter
Hur stor är den genotypiska variationen och finns det skillnader under säsongen?

Resultaten från genotypningen visar att antalet unika genotyper minskar med tiden över odlingssäsongen och att differentieringen är större på vårvete och rågvete än i prov insamlade i höstveten. Det var signifikanta skillnader mellan populationerna i rågvete och vårvete jämfört med populationerna i höstveten. Övergripande för alla isolat är att populationen av *P. striiformis* i Skåne är lågt differentierad med många kloner.

- Vilka bekämpningsstrategier är effektivast mot gulrost?

Enligt litteraturen undviks gulrost effektivast genom att odla resistenta sorter med vuxenplantsresistens. Resultat från fungicidförsöken visade att kemisk bekämpning är fortsatt effektivt och bör göras i ett tidigt skede och vid högt smittotryck bör behandlingar göras med max 2-3 veckors mellanrum. Tidpunkten är viktigare än dosen.

7. Referenser

- Agrios, G. N. (2008). Plant pathology. 5:e upplagan. Amsterdam: Elsevier Academic Press. ISBN 0-12-044565-4.
- Ali, S., Gladieux, P., Leconte, M., Gautier, A., Justesen, A. F., Hovmøller, M. S., Enjalbert, J. & de Vallavieille-Pope, C. (2014). Origin, migration routes and worldwide population genetic structure of the wheat yellow rust pathogen *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. (McDonald, B. A., Ed). PLoS pathogens, 10(1).
- Anderberg, A. (2000). Berberis. (Den virtuella floran) [online]. Tillgänglig: <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/berberida/berbe/welcome.html>. [2015-12-08].
- Anderberg, A. (2004) Mahonia. (Den virtuella floran) [online]. Tillgänglig: <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/berberida/berbe/welcome.html>. [2015-12-17].
- Berg, G. (1994). Faktablad om växtskydd. SLU. Tillgänglig: http://www.slu.se/Global/externwebben/nlfak/ekologi/V%C3%A4xtskydd/faktablad/Faktablad_om_vaxtskydd_71J.pdf. [Accessed 2015-09-15].
- Berg, G., Adholm, A., Lerenius, C., Sjöberg, A., Sperlingsson, K. & Petersson, P. (2015a). Risk- och konsekvensanalys för stråsäd - svampsjukdomar och skadedjur. Jordbruksverket. Tillgänglig: <https://www.jordbruksverket.se/download/18.405b2fe314fa9f86fe54f467/1441703473930/Risk+och+konsekvensanalys+f%C3%B6r+str%C3%A5s%C3%A4d+svamp+och+skadedjur.pdf>. [2015-09-30].
- Berg, G. & Aldén, L. (2012). Fungicidförsök i stråsäd och åkerbönor 2012. Skåneförsöken (Skåneförsök Rapport; 79).
- Berg, G. & Aldén, L. (2014). Rapport från växtodlings- och växtskydds dagar i Växjö den 3 och 4 december 2014. Alnarp: Södra jordbruksförsöksdistriktet, Sveriges lantbruksuniversitet. (Nr 67).
- Berg, G., Aldén, L., Gerdsson, A. & Söderlind, C. (2014). Växtskyddsåret 2014 Hallands, Skånes och Blekinge län. Jordbruksverket.(Rapport JO14:15).
- Berg, G., Aldén, L., Gerdsson, A. & Holmblad, J. (2015b). Växtskyddsåret 2015 Hallands, Skånes och Blekinge län. Jordbruksverket.(Rapport JO15:20).
- Berg, G., Holmblad, J. & Wikström, M. (2010). Växtskyddsåret 2010 Hallands, Skånes och Blekinge Län. Jordbruksverket.(Rapport JO10:12).
- Borlaug Global Rust Initiative. About BGRI. (2015) (<http://www.globalrust.org/about-bgri>).

- Chen, W., Wellings, C., Chen, X., Kang, Z. & Liu, T. (2014). Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Molecular plant pathology*, 15(5), ss. 433–446.
- Chen, X. (2013). Review article: high-temperature adult-plant resistance, key for sustainable control of stripe rust. *American journal of plant sciences*, 04(03), ss. 608–627.
- Chen, X. M. (2005). Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Canadian journal of plant pathology*, 27(3), ss. 314–337.
- Chen, X. M. (2007). Challenges and solutions for stripe rust control in the United States. *Australian journal of agricultural research*, 58(6), s 648.
- Cromeey, M. G. (1992). Adult plant resistance to stripe rust (*Puccinia striiformis*) in some New Zealand wheat cultivars. *New Zealand journal of crop and horticultural science*, 20(4), ss. 413–419.
- Djurle, A. & Teikari, N. (2004). Svartrost. Faktablad om växtskydd. SLU.
- Eriksen, L., Wellings, C. R., Jahoor, A., Afshari, F., Christiansen, M. J. & McIntosh, R. A. (2004). *Yr32* for resistance to stripe (yellow) rust present in the wheat cultivar Carstens V. *TAG theoretical and applied genetics*, 108(3), ss. 567–575.
- Eriksson, J. (1894). Über die spezialisierung des parasitismus bei den getreiderostpilzen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 12, ss. 292–331.
- Eriksson, J. & Henning, E. (1896). Die getreideroste. Ihre geschichte und natur sowie. Massragein gegen dieselben, s.463. Stockholm: P.A. Norstedt och söner.
- Ewaldz, T., Berg, G. & Baumgardt, M. (2008). Växtskyddsåret 2008, Halland, Skåne och Blekinge. Jordbruksverket. (Rapport JO07:24)
- Freeland, J. R., Kirk, H. & Petersen, S. D. (2011). *Molecular ecology*. 2:a upplagan. Chichester: Wiley-Blackwell. ISBN 978-1-119-99308-7.
- Gentekniknämnden (2015). Genotyp och fenotyp. *Genteknik.nu*. Tillgänglig: http://genteknik.nu/genotyp-och-fenotyp_2/. [2015-12-22].
- Grönbech Hansen, J. (2014). About GRRC. Tillgänglig: <http://wheatrust.org/enhed/mission-and-goals/> [2015-09-28]
- Grönbech Hansen, J. (2015). Yellow rust tools-maps and charts [Online]. Tillgänglig: <http://wheatrust.org/yellow-rust-tools-maps-and-charts/races-changes-across-years/>. [2015-09-28].
- Halkett, F., Simon, J. & Balloux, F. (2005). Tackling the population genetics of clonal and partially clonal organisms. *Trends in ecology & evolution*, 20(4), ss. 194–201.

Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., Huhndorf, S., James, T., Kirk, P. M., Lücking, R., Thorsten Lumbsch, H., Lutzoni, F., Matheny, P. B., McLaughlin, D. J., Powell, M. J., Redhead, S., Schoch, C. L., Spatafora, J. W., Stalpers, J. A., Vilgalys, R., Aime, M. C., Aptroot, A., Bauer, R., Begerow, D., Benny, G. L., Castlebury, L. A., Crous, P. W., Dai, Y.-C., Gams, W., Geiser, D. M., Griffith, G. W., Gueidan, C., Hawksworth, D. L., Hestmark, G., Hosaka, K., Humber, R. A., Hyde, K. D., Ironside, J. E., Kõljalg, U., Kurtzman, C. P., Larsson, K.-H., Lichtwardt, R., Longcore, J., Miądlikowska, J., Miller, A., Moncalvo, J.-M., Mozley-Standridge, S., Oberwinkler, F., Parmasto, E., Reeb, V., Rogers, J. D., Roux, C., Ryvarden, L., Sampaio, J. P., Schüßler, A., Sugiyama, J., Thorn, R. G., Tibell, L., Untereiner, W. A., Walker, C., Wang, Z., Weir, A., Weiss, M., White, M. M., Winka, K., Yao, Y.-J. & Zhang, N. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the fungi. *Mycological research*, 111(5), ss. 509–547.

Holmkrantz, H. (2015). Växtförädlarens kamp mot gulrosten. *Grodden*, 2015(4), ss. 6–7. Lantmännen.

Hovmøller, M. S. (2001). Disease severity and pathotype dynamics of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in Denmark. *Plant pathology*, 50(2), ss. 181–189.

Hovmøller, M. S., Sørensen, C. K., Walter, S. & Justesen, A. F. (2011). Diversity of *Puccinia striiformis* on cereals and grasses. *Annual review of phytopathology*, 49(1), ss. 197–217.

Hovmøller, M. S., Yahyaoui, A. H., Milus, E. A. & Justesen, A. F. (2008). Rapid global spread of two aggressive strains of a wheat rust fungus. *Molecular ecology*, 17(17), ss. 3818–3826.

Hushållningssällskapet (2014). Strategi med betning mot gulrost i höstvete. Skåneförsöken (skåneförsök rapport; 81).

Jin, Y., Szabo, L. J. & Carson, M. (2010). Century-old mystery of *Puccinia striiformis* life history solved with the identification of *Berberis* as an alternate host. *Phytopathology*, 100(5), ss. 432–435.

Jordbruksverket. (2013). Gulrost och axgångsbehandling i höstvete. Nr. 11. [online]. Jordbruksverket. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtskydd/vaxtskyddscentralerna/linkoping/vaxtskyddsbrevfranlinkoping/linkoping2013/nr11gulrostochaxgangsbehandlingihostvete.5.425b011913efa70e20e1531.html>. [2015-12-01].

Jordbruksverket. (2014a). Gulrost – resultat från undersökning av smittoraser samt smittoförsök i höstvete och rågvete från Århus universitet, Flakkebjerg, 2014. Nr 31. [online]. Jordbruksverket. Tillgänglig: <https://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtskydd/vaxtskyddscentralerna/skara/vaxtskyddsbrevskara/2014nyhetsarkiv/nr31gulrostresultatfranun>

dersokningavsmittorasersamtsmittoforsokihostveteochragvetefranarhusuniversitetflakkebjerg2014.5.37e9ac46144f41921cd2b53d.html. [2015-12-01].

Jordbruksverket. (2014b). Gulrost hotar Sveriges veteskördar. [online].

Jordbruksverket. Tillgänglig:

<https://www.jordbruksverket.se/pressochmedia/nyheter/nyheter2014/gulrosthotarsverigesveteskordar.5.37e9ac46144f41921cd22656.html>. [2015-11-26].

Jordbruksverket. (2014c) Växtskyddsläget -gulrost, vetedvärgsjuka och fysiologiska fläckar. Jordbruksverket. Tillgänglig:

<https://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtskydd/vaxtskyddscentralerna/uppsala/vaxtskyddsbrevuppsala/uppsala2014/nr5vaxtskyddslaget.5.37e9ac46144f41921cdaf7f.html>. [2016-01-16].

Jordbruksverket (2015a). Bekämpningsrekommendationer-svampar och insekter 2015.

Jordbruksverket. Tillgänglig:

<http://www2.jordbruksverket.se/download/18.4a22887914cb07417949e61d/1428993588152/be17v5.pdf>. [2015-09-29].

Jordbruksverket. (2015b). Höstvete- och rågvetesorternas mottaglighet för olika raser av gulrost - resultat från smittoförsök vid Århus universitet 2015. Nr 28.

[online]. Jordbruksverket. Tillgänglig:

<http://www.anpdm.com/newsletter/3058544/44425D447843435A4A71>. [2015-12-01].

Jordbruksverket. (2015c). Varning för kraftiga angrepp av gulrost i rågvete. [online].

Jordbruksverket. Tillgänglig:

<https://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ekologiskproduktion/nyhetsbrev ekologisk produktion/nyhetsbrev ekobrev/2015nyhetsarkiv/varningfororkraftigaangreppavgulrostiravgvete.5.72cfa6d614df7504e826dfa.html>. [2015-12-09].

Jordbruksverket. (2015d). Växtskyddsbrev Alnarp. [online]. Jordbruksverket.

Tillgänglig:

<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtskydd/vaxtskyddscentralerna/alnarp/vaxtskyddsbrev alnarp.4.5aec661121e26138528000870.html>. [2015-11-20].

Kemikalieinspektionen (2015). Remissvar om konkurrenskraftsutredningens

slutbetänkande, attraktiv, innovativ och hållbar – strategi för en konkurrenskraftig jordbruks- och trädgårdsnäring, SOU 2015:15. [online].

Kemikalieinspektionen. Tillgänglig: http://www.kemi.se/global/om-kemikalieinspektionen/remissvar/2015/150615-remissvar-om-konkurrenskraftsutredningens-slutbetankande-sou-2015-15_webb.pdf. [2015-12-07].

Line, R., Sharp, E., & Powelson, R. (1970). A system for differentiating races of *Puccinia striiformis* in the United States. (Plant Disease Reporter; 54).

- Lundin, P. (1997). Rost- och mjöldaggsresistens hos stråsäd. Den svenska växtförädlingens historia. ss. 145–154. KSLA. (20).
- MacIntosh, R. A., Wellings, C. R. & Park, R. F. (1995). Wheat rusts: an atlas resistance genes. Melbourne: CSIRO. ISBN 978-0-643-05428-8.
- Maddison, A. C. & Manners, J. G. (1972). Sunlight and viability of cereal rust uredospores. Transactions of the British mycological society, 59(3), ss. 429–443.
- Ma, H. (1996). Expression of adult resistance to stripe rust at different growth stages of wheat. Plant disease, 80(4), s 375.
- Manners, J. G. (1988). *Puccinia striiformis*, Yellow rust (stripe rust) of cereals and grasses. Genetics of plant pathogenic fungi. ss. 373–387. British library.
- McDonald, B. A. (2004). Population genetics of plant pathogens. The plant health instructor. [online]. Tillgänglig: <http://www.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/PopGenetics/Pages/default.aspx>. [2015-10-06].
- Milus, E. A., Kristensen, K. & Hovmøller, M. S. (2009). Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. Phytopathology, 99(1), ss. 89–94.
- Milus, E. A., Seyran, E. & McNew, R. (2006). Aggressiveness of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates in the south-central United States. Plant Disease, 90(7), ss. 847–852.
- Paillard, S., Trotoux-Verplancke, G., Perretant, M.-R., Mohamadi, F., Leconte, M., Coëdel, S., de Vallavieille-Pope, C. & Dedryver, F. (2012). Durable resistance to stripe rust is due to three specific resistance genes in French bread wheat cultivar Apache. Theoretical and Applied Genetics, 125(5), ss. 955–965.
- Reece, J. B. & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology. 9:e upplagan. Boston: Benjamin Cummings / Pearson. ISBN 978-0-321-55823-7.
- Rodriguez-Algaba, J., Walter, S., Sørensen, C. K., Hovmøller, M. S. & Justesen, A. F. (2014). Sexual structures and recombination of the wheat rust fungus *Puccinia striiformis* on *Berberis vulgaris*. Fungal genetics and biology, 70, ss. 77–85.
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., Saari, E. E. & international maize and wheat improvement center (1992). Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico, D.F: CIMMYT. ISBN 968-6127-47-X.
- SEGES (2015). Vejledning i bedømmelser i landsforsøgene. SEGES. Tillgänglig: file:///C:/Users/Micke/Downloads/pl_kval_landsfors_HJ05-001.pdf. [2015-12-01].

- Shaner, G. & Powelson, R. L. (1971). Epidemiology of stripe rust of wheat, 1961-1968. Agricultural experiment station, Oregon state University. Technical bulletin. ss. 3-30.
- Sjöholm, L. & Berlin, A. (2015). Gulrost-aktuell status och framtida projekt. Tillgänglig: <http://www.forsoken.se/Konferens/Svea/2015/203.pdf>. [2015-11-26].
- SMHI. (2015a). SMHI öppna data. [online]. Tillgänglig: <http://opendata-catalog.smhi.se/explore/>. [2015-09-21].
- SMHI. (2015b). Årets och årstidernas väder och vatten. [online] (SMHI). Tillgänglig: <http://www.smhi.se/klimatdata/arssammanstallningar/vader>. [2015-09-22].
- Stubbs, R. W. (1985). Stripe rust. The cereal rusts volym 2: Diseases, distribution, epidemiology and control, A. P. Roelfs och W. R. Bushnell. Academic press Orlando, Fla. ISBN 0-12-148402-5. ss. 61-101.
- Svensson, G. (1989). Nya raser av gulrost sommaren 1989. [online], 1989(35). Tillgänglig: http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/meddelande_sjfd/MSJ35/MSJ35C.HT. [2015-11-10].
- Sverigeförsöken. (2015). Sverigeförsöken. [online] (Sverigeförsöken). Tillgänglig: <http://www.sverigeforsoken.se/se/forsoken.asp>. [2015-11-10].
- Sørensen, C. K., Hovmøller, M. S., Leconte, M., Dedryver, F. & de Vallavieille-Pope, C. (2014). New races of *Puccinia striiformis* found in Europe reveal race specificity of long-term effective adult plant resistance in wheat. *Phytopathology*, 104(10), ss. 1042–1051.
- Wang, M. N. & Chen, X. M. (2013). First report of Oregon grape (*Mahonia aquifolium*) as an alternate host for the wheat stripe rust pathogen (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) under artificial inoculation. *Plant disease*, 97(6), ss. 839–839.
- Wellings, C. R. (2007). *Puccinia striiformis* in Australia: a review of the incursion, evolution, and adaptation of stripe rust in the period 1979–2006. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(6), s. 567.
- Wiik, L. & Ewaldz, T. (2009). Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983–2007. *Crop protection*, 28(11), ss. 952–962.
- Zadoks, J. C. (1961). Yellow rust on wheat studies in epidemiology and physiologic specialization. *Tijdschrift over plantenziekten*, 67(3), ss. 69–256.

Zadoks, J. C. & Bouwman, J. J. (1985). Epidemiology in Europe. Orlando, Fla.: Academic press. (The cereal rusts: Diseases, distribution, epidemiology and control). ISBN 0-12-148402-5.

7.1 Opublicerat material

Berg, G. (2015-02-05). Personlig kommentar. Jordbruksverket.

Berg, G. (2015-12-07). Personlig kommentar. Jordbruksverket.

Nistrup Jørgensen, L. (2015-09-21). Triticale forsøg, Opublicerat material, Department of agroecology, Århus universitet, Flakkebjerg.

Hovmøller, M. S. (2015-12-08). Personlig kommentar. Department of agroecology, Århus universitet, Flakkebjerg.